



Tugas Akhir - TL141584

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR MATA PAHAT
DAN KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP
KONDUKTIVITAS LISTRIK SAMBUNGAN
ALUMINIUM DAN TEMBAGA HASIL FRICTION
STIR WELDING (FSW)**

Fauzan Kurniawan

NRP. 02511440000121

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

(Halaman Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**THE INFLUENCES OF TOOL ROTATING SPEED
AND WELDING SPEED ON ELECTRICAL
CONDUCTIVITY OF ALUMINIUM AND COPPER
JOINT BY FRICTION STIR WELDING (FSW)**

Fauzan Kurniawan

NRP. 02511440000121

Advisors

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Materials Engineering Department

Faculty of Industrial Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR MATA PAHAT DAN
KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP
KONDUKTIVITAS LISTRIK SAMBUNGAN ALUMINIUM
DAN TEMBAGA HASIL FRICTION STIR WELDING
(FSW)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fauzan Kurniawan
NRP. 02511440000121

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Budi Agung K, S.T., M.Sc(Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc(Pembimbing 2)



(Halaman Sengaja Dikosongkan)

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR MATA PAHAT DAN
KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP
KONDUKTIVITAS LISTRIK SAMBUNGAN ALUMINIUM
DAN TEMBAGA HASIL FRICTION STIR WELDING
(FSW)**

Nama : Fauzan Kurniawan
NRP : 02511440000121
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstrak

Pada penelitian ini didiskusikan pengaruh kecepatan putar mata pahat dan kecepatan pengelasan pada nilai konduktivitas listrik sambungan Al-Cu. Sambungan Al-Cu diperoleh dari proses Friction Stir Welding (FSW) butt joint. Bahan yang digunakan adalah Al 6061 dan tembaga murni. Proses FSW menggunakan mata pahat dengan desain pin yang menyatu dengan mata pahat dan sudut kemiringan tiga derajat. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan rotasi mata pahat 800, 1000 dan 1250 RPM serta kecepatan pengelasan 10, 12,5 dan 16 mm/min. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian makro visual, pengukuran nilai resistansi dan pengujian mikro hardness. Selain dilakukan pengujian, dilakukan analisis mengenai heat input dan waktu pengelasan yang dibutuhkan pada setiap variabel. Hasil pengujian makro visual dan XRD didapati bahwa pada sambungan aluminium dan tembaga terdapat senyawa intermetalik berupa AlCu dan Al₂Cu. Dari analisa yang dilakukan, didapatkan hasil pengelasan dengan kecepatan pengelasan 12,5 mm/min merupakan variabel teroptimum. Nilai konduktivitas yang didapat dari proses pengelasan ini adalah berkisar antara 27,173 m Ω^{-1} mm⁻² dan 28,09 m Ω^{-1} mm⁻². Adanya senyawa intermetalik mempengaruhi konduktivitas sambungan aluminium dan tembaga.

Kata kunci: Bimetal Al-Cu, Friction Stir Welding, Senyawa Intermetalik, Solid-state Welding

**THE INFLUENCES OF TOOL ROTATING SPEED AND
WELDING SPEED ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY
OF ALUMINIUM AND COPPER JOINT BY FRICTION
STIR WELDING (FSW)**

Name : Fauzan Kurniawan
NRP : 02511440000121
Department : Material Engineering FTI-ITS
Advisors : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstract

Dissimilar friction stir welding between 6061 aluminum alloy and pure copper sheet with a thickness of 3 mm was investigated. The variables were three rotational tool speeds (800, 1000 and 1250 RPM) and three welding speeds (10, 12,5 and 16 mm/min). The influences of tool rotating speed and welding speed on the electrical conductivity of the joints were investigated. The examination that has been done were macro visual examination, resistance measurement using micro ohmmeter and micro hardness examination. Heat input and welding time analysis was also done in this experiment. From micro visual and XRD examination, AlCu and Al₂Cu intermetallic compound was found at the joint of aluminium and copper. The optimum variable was obtained a welding speed of 12,5 mm/min. The value of electrical conductivity was between 27,173 m Ω^{-1} mm⁻² and 28,09 m Ω^{-1} mm⁻². The presence of intermetallic compound was affecting the electrical conductivity of the joint.

Keywords: Bimetal Al-Cu, Friction Stir Welding, Intermetallic Compound, Solid-state Welding

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul “Pengaruh Kecepatan Putar Mata Pahat dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Konduktivitas Listrik Sambungan Aluminium dan Tembaga Hasil Friction Stir Welding” Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua Penulis, Bapak Haryana dan Ibu Prasdiyati yang telah mendukung penulis baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi dan semangat yang tak ternilai harganya.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan kepada penulis.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen copembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
5. Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si dan Bapak Budi Agung Kurniawan., ST., M.Sc selaku Dosen Wali penulis pada Departemen Teknik Material FTI-ITS.

6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Teman-teman Laboratorium Metalurgi yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan tugas akhir.
8. Saudara Habiyoso Rafli, Ridho Ma'ruf Quluq, Ido Widya A.K.A Ambis Team yang telah membantu dan menemani penulis "sinau bareng" selama menjadi mahasiswa.
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Teman-teman MT 16 yang selalu membantu penulis dengan baik.
11. Serta seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2018
Penulis,

Fauzan Kurniawan
02511440000121

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak.....	viii
Abstract.....	x
Kata Pengantar	xii
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar.....	xvi
Daftar Tabel	xix
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Aluminium dan Tembaga	5
2.1.1 Aluminium dan Aplikasinya	5
2.1.2 Tembaga dan Aplikasinya.....	7
2.2 Pengelasan	9
2.3 Friction Welding	11
2.3.1 Dissimilar Friction Stir Welding Al-Cu	14
2.4 Bimetal	15
2.5 Kontak Elektrik.....	17
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	19
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 25
3.1 Diagram Alir.....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat Penelitian.....	27
3.2.2 Bahan Penelitian.....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.4 Pengujian dan Pengukuran	33

3.4.1 Pengujian Makro Visual	33
3.4.2 Pengukuran Nilai Resistansi.....	33
3.4.3 Pengujian Mikro Hardness.....	35
3.4.4 Pengujian Mikro Visual	36
3.4.5 Pengujian X-Ray Diffraction	37
3.5 Rancangan Penelitian	38
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 41
4.1 Hasil	41
4.1.1 Hasil Analisa Waktu Pengelasan	41
4.1.2 Hasil Pengujian Makro Visual.....	42
4.1.3 Hasil Pengujian Mikro Hardness.....	47
4.1.4 Hasil Analisa Heat Input	50
4.1.5 Hasil Pengukuran Resistansi.....	52
4.1.6 Hasil Analisa Mikro Visual.....	55
4.1.7 Hasil Analisa XRD.....	58
4.1.7 Hasil Analisa Keseluruhan.....	61
4.2 Pembahasan	63
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
 Daftar Pustaka	 xiii
Lampiran.....	xvii
Biografi Penulis.....	xxviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Friction Stir Welding (Rajiv S. Mishra, 2007).....	12
Gambar 2. 2 Konfigurasi sambungan pada FSW (a) Square butt. (b) Edge butt. (c) T-butt joint. (d) Lap joint. (e) Multiple lap joint. (f) T-lap joint. (g) Fillet joint. (Rajiv S. Mishra, 2007)	14
Gambar 2. 3 Morfologi permukaan dan penampang dari dissimilar butt-welded AA1060 dan Cu dengan pelat Cu diletakkan pada (A) sisi advancing (AS), (B) sisi retreating (RS), (C) perbesaran dari cacat tunnel pada gambar B, (D) penampang dari gambar A, (E) penampang dari gambar B (Xue dkk, 2011)	15
Gambar 2. 4 Bimetal Al-Cu (alibaba.com).....	16
Gambar 2. 5 Skema dari penyempitan arus dan luas kontak area (Milenko Braunovic, 2007).....	18
Gambar 2. 6 Geometri Mata Pahat.....	20
Gambar 2. 7 Variasi Nilai Konduktivitas dan Lebar intermetalik	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Dimensi Mata Pahat	28
Gambar 3. 3 Ilustrasi Proses Pengelasan 3D	28
Gambar 3. 4 Ilustrasi Pengelasan Tampak Samping.....	29
Gambar 3. 5 Dokumentasi Proses Pengelasan (1)	29
Gambar 3. 6 Dokumentasi Proses Pengelasan (2)	30
Gambar 3. 7 Kemiringan Mesin (1)	31
Gambar 3. 8 Kemiringan Mesin (2).....	32
Gambar 3. 9 Contoh Spesimen Uji	32
Gambar 3. 10 Contoh Hasil Pengujian Makro Visual.....	33
Gambar 3. 11 Skema Pengujian Resistansi	34
Gambar 3. 12 Mesin Mikro Ohmmeter	34
Gambar 3. 13 Alat Uji Mikro Hardness	35
Gambar 3. 14 Penampang Pengujian Mikro Hardness.....	36
Gambar 3. 15 Mikroskop Trinokular Olympus	37
Gambar 3. 16 Mesin Uji XRD PANalytical	38
Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Semua Benda Uji	41

Gambar 4. 2 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=10$ mm/min.....	42
Gambar 4. 3 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=12,5$ mm/min.....	43
Gambar 4. 4 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=16$ mm/min.....	43
Gambar 4. 5 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=10$ mm/min.....	44
Gambar 4. 6 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=12,5$ mm/min.....	44
Gambar 4. 7 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=16$ mm/min.....	45
Gambar 4. 8 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=10$ mm/min.....	45
Gambar 4. 9 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=12,5$ mm/min.....	46
Gambar 4. 10 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=16$ mm/min.....	46
Gambar 4. 11 Nilai Kekerasan Benda Uji.....	49
Gambar 4. 12 Heat Input Benda Uji.....	51
Gambar 4. 13 Pengaruh Kecepatan Putar Mata Pahat terhadap Nilai Konduktivitas Benda Uji.....	54
Gambar 4. 14 Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Nilai Konduktivitas Benda Uji.....	54
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Makro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min.....	55
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 12,5mm/min.....	56
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16mm/min.....	56

Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 1000 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min.....	57
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 1250 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min.....	57
Gambar 4. 20 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 12,5 mm/min.	58
Gambar 4. 21 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16 mm/min ...	59
Gambar 4. 22 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 1000 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16 mm/min .	60
Gambar 4. 23 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 1250 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10 mm/min .	61

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Fisika Aluminium Murni (Milenko Braunovic dkk, 2006).....	5
Tabel 2. 2 Kode Paduan Aluminium (George S. Brady dkk, 2002).....	6
Tabel 2. 3 Aplikasi Aluminium (Ron Cobden, 1994).....	7
Tabel 2. 4 Karakteristik Tembaga (Milenko Braunovic dkk, 2006).....	8
Tabel 2. 5 Pemanfaatan Sifat Tembaga (W.G. Davenport, 2000).....	9
Tabel 2. 6 Aplikasi Tembaga (W.G. Davenport, 2000).....	9
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian (1).....	38
Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian (2).....	39
Tabel 4. 1 Waktu Pengelasan	42
Tabel 4. 2 Data Nilai Kekerasan Base Metal (HV).....	47
Tabel 4. 3 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 800 RPM (HV).....	47
Tabel 4. 4 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 1000 RPM (HV).....	47
Tabel 4. 5 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 1250 RPM (HV).....	48
Tabel 4. 6 Nilai Kekerasan Benda Uji (HV)	48
Tabel 4. 7 Data Heat Input Untuk N=800 RPM	50
Tabel 4. 8 Data Heat Input Untuk N= 1000 RPM	50
Tabel 4. 9 Data Heat Input Untuk N= 1250 RPM	51
Tabel 4. 10 Heat Input Benda Uji (J/mm).....	51
Tabel 4. 11 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 800 RPM.....	52
Tabel 4. 12 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 1000 RPM.....	52
Tabel 4. 13 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 1250 RPM.....	52
Tabel 4. 14 Nilai Resistivitas dalam Satuan $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$	53
Tabel 4. 15 Nilai Konduktivitas dalam Satuan $\text{m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$	53

Tabel 4. 16 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM.....	62
Tabel 4. 17 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 1000 RPM.....	63
Tabel 4. 18 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 1250 RPM.....	63



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tembaga dan paduannya memiliki nilai konduktivitas termal dan listrik yang tinggi dan nilai kontak hambatan yang rendah (*low contact resistance*). Aluminium dan paduannya memiliki nilai konduktivitas yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, dan murah (Yuan Hu dkk, 2015). Penyambungan kedua material ini sedang intens dipelajari oleh para peneliti. Salah satu aplikasi dari sambungan aluminium dan tembaga adalah sambungan bimetalik (*bimetallic joints*) yang pada umumnya digunakan pada alat-alat kelistrikan seperti sambungan listrik berarus tinggi (*high direct-current bus systems*) dikarenakan sifat tahan korosi serta konduktivitas listrik yang baik (W.E. Verkamp, 1995). Besaran konduktivitas listrik dari aluminium adalah 238 W/m K sedangkan tembaga sebesar 393 W/m K (Robert E. Newhan, 2005).

Sambungan metalurgi (*metallurgical joints*) dibutuhkan pada aplikasi bimetal untuk peralatan listrik. Hal ini dikarenakan sebuah peralatan listrik harus mampu menghantarkan elektron dari satu titik ke titik lainnya. Pada penyambungan mekanis loss yang terjadi masih cukup besar. Loss ini disebabkan oleh defect berupa celah (R.J Messler, 2004). Namun dikarenakan perbedaan yang cukup besar pada sifat fisik dan kimianya, proses penyambungan metalurgi aluminium dan tembaga lebih sulit dilakukan. Beragam metode pengelasan termasuk *fusion welding*, *braze welding* dan *pressure welding* sudah diterapkan pada sambungan Al-Cu tetapi masih banyak masalah yang ditemui seperti oksidasi, kavitas dan retak (Ouyang J.H dkk, 2006; Liu P dkk, 2008). Hal ini disebabkan karena aluminium dan tembaga memiliki afinitas yang tinggi kepada satu sama lain pada temperatur lebih dari 120°C dan menghasilkan intermetalik yang getas, berkekuatan rendah serta memiliki hambatan yang tinggi



pada lapisan antar mukanya (M. Braunovic dkk, 1993; V.L.A Silveria, 1987). Maka dari itu fusion welding tidak dapat diaplikasikan untuk mengelas Al ke Cu. Sebagai gantinya proses pengelasan *solid-state* seperti *explosion*, *friction* dan *cold roll* telah dianggap sebagai proses pengelasan yang berkualitas untuk logam ini.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari proses penyambungan aluminium dan tembaga menggunakan teknik friction stir welding dengan variasi kecepatan putar mata pahat dan kecepatan pengelasan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu referensi metode penyambungan aluminium dan tembaga di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan putar mata pahat dan kecepatan pengelasan pada hasil pengelasan Al-Cu menggunakan FSW?
2. Bagaimana pengaruh hasil pengelasan terhadap nilai konduktivitas Al-Cu menggunakan FSW?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah atau variable yang diabaikan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Kondisi lingkungan tidak berubah pada saat pengujian
2. Gaya tekan dan torsi mesin bubut dianggap konstan
3. Deformasi pada *pin* mata pahat selama proses pengelasan

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh kecepatan putar mata pahat dan kecepatan pengelasan pada hasil pengelasan Al-Cu

BAB I PENDAHULUAN



2. Menganalisa pengaruh hasil pengelasan terhadap nilai konduktivitas listrik Al-Cu

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, diharapkan dapat memberi manfaat seperti berikut:

1. Membuka pandangan mahasiswa beserta dosen Teknik Material ITS mengenai perkembangan dan pentingnya penelitian di bidang friction stir welding.
2. Dapat dijadikan referensi mengenai proses penyambungan aluminium dan tembaga di masa yang akan datang terutama pada aplikasi *bimetal*



(Halaman Sengaja Dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium dan Tembaga

2.1.1 Aluminium dan Aplikasinya

Sebuah logam berwarna putih dengan sedikit kebiruan memiliki berat atom 26.97 diperoleh terutama dari bauksit. Itulah kira-kira definisi dari sebuah aluminium. Logam aluminium diproduksi dengan cara mengekstraksi alumina (aluminium oksida) dari bauksit melalui proses kimia. Kemudian alumina dilarutkan dalam elektrolit cair dan diberikan arus listrik, menyebabkan logam aluminium terdeposit pada katoda.

Tabel 2. 1 Sifat Fisika Aluminium Murni (Milenko Braunovic dkk, 2006)

Sifat	Besaran
Densitas	2.7 g/cm ³
Resistivitas (ρ)	$2.9 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
Konduktivitas listrik ($1/\rho$)	$3.45 \times 10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$
Kekerasan Brinell (H_B)	27
Modulus Elastis (E)	$0.72 \times 10^5 \text{ MPa}$

Mencampurkan aluminium dengan elemen lain dapat meningkatkan sifat mekanik, kekuatan, dan rasio kekuatan-berat. Ada dua jenis aluminium *wrought alloy*: (1) paduan yang mampu diberikan perlakuan panas dan (2) paduan yang tidak dapat diberi perlakuan panas. Penamaan paduan pada aluminium terdiri dari empat digit angka yang diikuti huruf untuk menunjukkan kondisi paduan tersebut.

Empat digit angka yang menyatakan kode dari sebuah aluminium dibuat oleh Asosiasi Aluminium pada 1954. Angka



pertama menunjukkan kelompok paduan. Angka kedua menunjukkan modifikasi dari paduan asli; nol untuk paduan asli dan angka satu hingga sembilan menyatakan modifikasi paduan. Angka ketiga dan keempat mengindikasikan presentase aluminium; sebagai contoh 1060 menunjukkan material memiliki 99,60% kemurnian aluminium dan tidak ada impuritas.

Tabel 2. 2 Kode Paduan Aluminium (George S. Brady dkk, 2002)

Kode	
1xxx	Aluminium Murni
2xxx	Paduan Aluminium-Tembaga
3xxx	Paduan Aluminium-Mangan
4xxx	Paduan Aluminium-Silicon
5xxx	Paduan Aluminium-Magnesium
6xxx	Paduan Aluminium-Silicon-Magnesium
7xxx	Paduan Aluminium-Zink

Adapun beberapa aplikasi dari aluminium antara lain adalah:



Tabel 2. 3 Aplikasi Aluminium (Ron Cobden, 1994)

Kode	Aplikasi
1xxx	Aluminium foil, <i>vehicles shaped panel</i>
2xxx	Aplikasi pesawat dan militer (kode 2017, 2024, 2014 dan 2011)
3xxx	Lembaran atap (<i>roofing sheet</i>) (3105 + 3103) dan panel kendaraan (3103)
4xxx	Kabel pengelasan (<i>welding wire</i>) dan paduan filler <i>brazing</i>
5xxx	Pipa bertekanan dan struktur kapal
6xxx	Struktur bangunan, bimetal
7xxx	Aplikasi militer
8xxx	Tutup minuman bersoda (8011), dan paduan lithium untuk <i>aircraft sheet</i> (8091)

2.1.2 Tembaga dan Aplikasinya

Termasuk ke salah satu logam yang paling banyak digunakan dan mungkin menjadi yang pertama digunakan manusia. Ore tembaga ditemukan di alam dalam jumlah yang banyak. Tembaga memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Berwarna merah kekuningan, tangguh, ulet dan mudah dibentuk. Jika dirasakan dengan lidah memiliki rasa yang tidak



enak dan ketika dicium mengeluarkan bau yang aneh. (George S. Brady dkk, 2002)

Tabel 2. 4 Karakteristik Tembaga (Milenko Braunovic dkk, 2006)

Sifat	Besaran
Densitas	8.9 g/cm ³
Resistivitas (ρ)	$1.75 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
Konduktivitas listrik ($1/\rho$)	$5.71 \times 10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$
Kekerasan Brinell (H_B)	35
Modulus Elastis (E)	$1.2 \times 10^5 \text{ MPa}$

Selain lunak dan mudah dibentuk, tembaga juga memiliki konduktivitas dan kemampuan untuk dilas yang sangat baik. Melalui proses rolling dan drawing, berbagai produk kelistrikan seperti kabel, lembaran dan busbar datar bisa dibuat. Konduktivitas yang tinggi pada tembaga yang digunakan untuk aplikasi kelistrikan harus dibuat dengan sangat hati-hati. Impuritas seperti Ag, Au, As, Sb dan yang lainnya harus dihilangkan. (Milenko Braunovic, 2006)

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Copper Development Association dan Noranda, didapati sifat yang paling dimanfaatkan dari tembaga dan aplikasi pada dunia industri.



Tabel 2. 5 Pemanfaatan Sifat Tembaga (W.G. Davenport, 2000)

Sifat yang dimanfaatkan	% dari penggunaan total
Konduktivitas listrik	61
Ketahanan korosi	20
Konduktivitas panas	11
Sifat mekanik dan struktural	6
Aestetik	2

Tabel 2. 6 Aplikasi Tembaga (W.G. Davenport, 2000)

Aplikasi	% dari penggunaan total
Konstruksi bangunan	40
Produksi listrik dan elektronik	25
Mesin industri dan perlengkapannya	14
Perlengkapan transportasi	11
Barang konsumen	10

2.2 Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah sebuah proses penyambungan dua atau lebih bagian yang saling bersentuhan pada lapisan permukaannya melalui aplikasi tertentu seperti panas di atas dandan atau tekanan. Proses pengelasan banyak yang dapat dilakukan hanya menggunakan panas tanpa bantuan tekanan, sebagian menggunakan kombinasi keduanya. Pada sebagian proses pengelasan, digunakan *filler* untuk mempermudah penyambungan. Bagian sambungan hasil pengelasan disebut *weldment*. Beberapa keuntungan yang didapatkan dari proses pengelasan antara lain:

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- a. Pengelasan menghasilkan sambungan permanen. Bagian yang disambungkan menjadi satu kesatuan
- b. Daerah pengelasan bisa lebih kuat dari daerah asal (*Parent materials*) jika filler yang digunakan memiliki sifat kekuatan yang jauh lebih baik ketimbang parent material dan ketepatan teknik pengelasan yang dipilih
- c. Ekonomis baik secara penggunaan material dan biaya fabrikasi
- d. Tidak terbatas pada lingkungan pabrik, pengelasan dapat dilakukan di mana saja

Terdapat lebih dari 50 jenis pengelasan yang dikategorikan oleh American Welding Society (AWS volume 1). Namun pada umumnya, pengelasan dapat dikategorikan menjadi dua kelompok besar: (1) *Fusion welding* dan (2) *solid-state welding/pressure*.

Fusion welding menggunakan panas untuk melelehkan base metal. Biasanya dalam pengerjaan pengelasan, ditambahkan filler ke dalam molten pool untuk memperbaiki sifat pada daerah penyambungan. *Fusion welding* dapat dibagi lagi dalam beberapa kategori: (1) *Arc Welding* (AW), (2) *Resistance welding* (RW), (3) *Oxyfuel welding* (OFW) dan *fusion welding* lainnya.

Sedangkan *solid-state welding* adalah proses pengelasan dibawah temperatur leleh benda uji yang menggunakan kombinasi antara panas dan tekanan. Pada kombinasi panas dan tekanan, temperatur panas yang dihasilkan masih dibawah temperatur leleh material yang dilas. Tidak ada filler metal yang digunakan pada proses ini. Adapun pengelompokannya adalah sebagai berikut: (1) *Diffusion Welding* (DFW), (2) *Friction Welding* (FW) dan (3) *Ultrasonic Welding* (USW). (Mikell P. Groover, 2010)

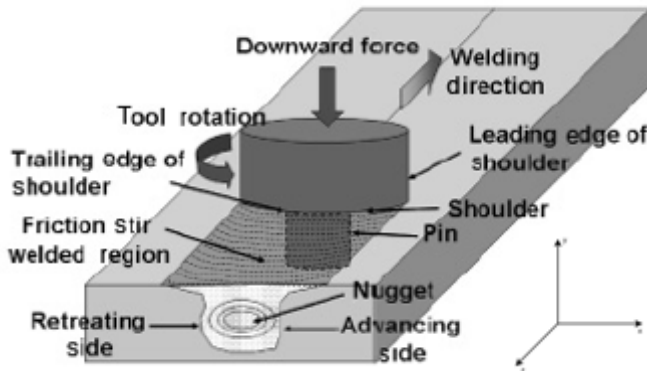


2.3 Friction Welding

Friction welding termasuk ke dalam kategori solid state yang menggunakan kombinasi antara panas dan tekanan dalam proses penyambungan. Panas yang dihasilkan tidak mencapai titik leleh material. Metode ini telah digunakan selama lebih dari 30 tahun. Secara tradisional, panas yang dibutuhkan dapat dihasilkan melalui gesekan antara bagian benda kerja. Namun kini dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, gesekan yang diperlukan dapat dihasilkan oleh mata pahat eksternal. Berikut adalah beberapa jenis dari *friction welding*:

- a. *Friction Welding* dengan rotasi yang dihasilkan salah satu benda kerja
- b. *Friction Surfacing*
- c. *Friction Stir Welding*

Friction Stir Welding ditemukan pada tahun 1991 di United Kingdom oleh The Welding Institute (TWI) sebagai sebuah teknik penyambungan dalam keadaan solid dan pada awalnya diterapkan di paduan aluminium. Konsep dasar dari FSW sungguh sederhana. Proses pengelasan diawali dengan preparasi mata pahat. Preparasi ini meliputi pembentukan dan juga pengerasan mata pahat. Mata pahat yang terdiri dari desain pin dan *shoulder* khusus ini disisipkan ke ujung lembaran atau pelat yang digabungkan dan kemudian digerakkan sepanjang garis sambungan (gambar 2.1). Gambar 2.1 mengilustrasikan definisi proses *friction stir welding butt joint*. Sedangkan pada *lap joint*, material uji diletakkan secara tumpang tindih dan prosesnya sama dengan *butt joint*.



Gambar 2. 1 Skema Friction Stir Welding (Rajiv S. Mishra, 2007)

Pada gambar 2.1, mata pahat FSW berputar dengan arah berlawanan arah jarum jam dan bergerak pada sumbu z. **Sisi advancing** adalah sisi yang terletak di kanan dimana arah putaran mata pahat sama dengan arah gerak mata pahat (berlawanan dengan arah aliran logam) dan **sisi retreating** adalah sisi yang berada di sebelah kiri dimana arah putaran mata pahat berlawanan dengan arah gerak mata pahat (sejajar dengan aliran logam).

Mata pahat menjalankan tiga fungsi utama yaitu pemanasan benda kerja, pergerakan material untuk menghasilkan sambungan dan penahan logam panas di bawah *shoulder* mata pahat. Pemanasan dihasilkan di dalam benda oleh gesekan antara mata pahat yang berputar dan *shoulder* dengan deformasi plastik material. Pemanasan lokal yang tercipta meluluhkan daerah di sekitar pin sehingga mengisi lubang yang ditinggalkan ketika mata pahat bergerak.

Hasil dari pergerakan mata pahat dan pengaruhnya pada benda kerja, jika dilakukan dengan benar, makan terbentuk sambungan dalam keadaan solid (*solid-state joint*) dan tidak

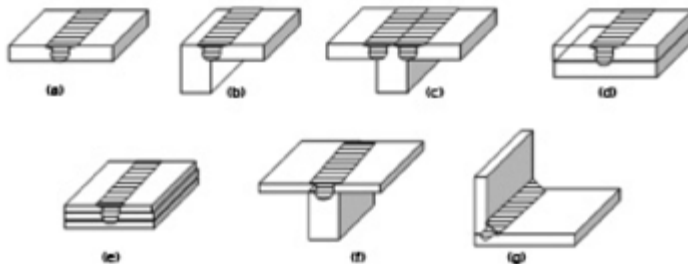
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



mencair. Terlepas dari ketidak homogenan mikrostruktur lokal, salah satu manfaat signifikan dari teknik pengelasan *solid-state* adalah mikrostruktur sepenuhnya terkristalisasi, seimbang, butiran halus terbentuk di nugget oleh deformasi plastis pada temperatur yang naik. Butiran halus menghasilkan sifat mekanik, sifat tahan kelelahan (*fatigue*), kemampuan untuk dibentuk dan superplastisitas yang sangat baik.

Friction stir welding disinyalir merupakan perkembangan terbesar dalam ilmu penyambungan logam pada beberapa dekade belakangan (Rajiv S. Mishra, 2005). FSW diakui lebih ramah energi dikarenakan energi yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan proses pengelasan konvensional. Hal ini dikarenakan FSW tidak menggunakan gas pelindung ataupun fluks dan tidak menimbulkan emisi yang membahayakan. Dengan tidak menggunakan filler logam dan tidak meleleh, segala jenis paduan aluminium dapat disambung tanpa memikirkan kecocokan komposisi atau retak saat proses solidifikasi.

Namun di balik kelebihan tersebut, FSW hanya terbatas pada bentuk-bentuk tertentu. FSW dapat diterapkan pada hampir semua bentuk struktural geometris dan berbagai jenis sambungan seperti *butt*, *lap*, *T-butt* dan bentuk *fillet*. Konfigurasi yang paling aman adalah *lap* dan *butt*.

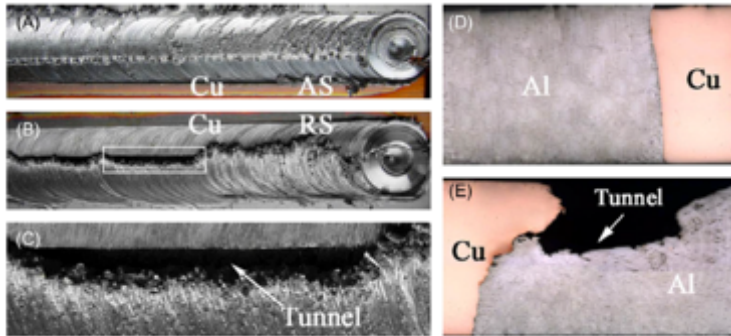


Gambar 2. 2 Konfigurasi sambungan pada FSW (a) Square butt. (b) Edge butt. (c) T-butt joint. (d) Lap joint. (e) Multiple lap joint. (f) T-lap joint. (g) Fillet joint. (Rajiv S. Mishra, 2007)

Kriteria keberhasilan dari sebuah pengelasan antara lain adalah: tidak adanya kavitas, *channel* dan *void*. (Zhan Chen, 2010).

2.3.1 Dissimilar Friction Stir Welding Al-Cu

Pengelasan dissimilar antara Al dan Cu baru-baru ini mendapat perhatian yang cukup signifikan, terutama karena potensial yang dimiliki pada komponen listrik dan industri pembangkit listrik dengan memanfaatkan paduan ringan dan murah serta konduktivitas listrik dan thermal yang sangat luar biasa baik dari tembaga. Serupa dengan pengelasan dissimilar Al dan Mg atau baja, reaktivitas metalurgi dan afinitas yang tinggi menyebabkan pembentukan intermetallik yang keras dan rapuh seperti yang ditunjukkan pada diagram fasa Al-Cu. Lapisan intermetallik ini menghasilkan kekuatan lasan yang rendah. Hal ini cukup menjadi tantangan untuk mencapai keadaan bebas cacat pada pengelasan Al-Cu. Void besar, retak dan cacat lainnya sering dijumpai pada daerah lasan. Berbagai aktifitas riset seperti penempatan benda kerja (pada sisi *advancing* atau *retreating*), dengan atau tanpa mata pahat, arah putar mata pahat, parameter pengelasan (kecepatan rotasi dan kecepatan pengelasan). (Nilesh Kumar dkk, 2015)



Gambar 2. 3 Morfologi permukaan dan penampang dari dissimilar butt-welded AA1060 dan Cu dengan pelat Cu diletakkan pada (A) sisi advancing (AS), (B) sisi retreating (RS), (C) perbesaran dari cacat tunnel pada gambar B, (D) penampang dari gambar A, (E) penampang dari gambar B (Xue dkk, 2011)

Pada gambar 2.3 dapat dilihat friction stir butt-welded 5mm AA1060 dan tembaga murni dengan Al dan Cu pada sisi *advancing*. Masing-masing lasan dihasilkan pada 800 rpm dan 100 mm/min menggunakan mata pahat dengan 20 mm diameter *shoulder* dan 6 mm diameter pin. Yang diamati dari pengelasan ini adalah untuk hasil yang bebas cacat adalah ketika pelat Cu diletakkan di sisi *advancing* (Gambar A). Ketika pelat Al diletakkan di sisi *advancing* (Gambar B) menghasilkan cacat yang cukup besar. Hal ini dikarenakan Al yang lebih lunak (dibanding Cu) terekstrusi dari *weld zone*.

2.4 Bimetal

Saat ini logam *multilayer*, termasuk bimetal, merupakan kelompok material industri dengan sifat yang luas cakupannya. Biasanya bimetal diproduksi dalam bentuk lembaran, strip, kawat, pipa, profil kompleks dan lain-lain. Pada aplikasinya,



logam *multilayer* dibagi menjadi *corrosion-resistant*, *wear-resistant*, *thermal bimetals*, *electrical engineering*, kawat dan masih banyak lagi. (A. Bykov, 2011)

Bimetal, khususnya bimetal Al-Cu, digunakan sebagai penghubung pada *high direct-current bus systems* untuk mengalirkan listrik dengan menghubungkan terminal tembaga dengan konduktor bus bar aluminium. Setiap bimetal dengan luas permukaan kontak 20 cm² dapat mengalirkan arus listrik yang tinggi hingga 2000 amp (100 amp/cm²). Jika terminal tembaga dan konduktor bus bar aluminium berhubungan langsung satu sama lain, tanpa bimetal Al-Cu, umur pakai sambungan listrik tersebut berkisar 1 tahun. Tetapi dengan menggunakan bimetal Al-Cu umur pakainya dapat menjadi 10 tahun. Dalam proses manufakturnya, ukuran dari bimetal Al-Cu harus dijaga sekecil mungkin untuk meminimalisir terbuangnya energi listrik dan mencegah kenaikan temperatur (M. Abbasi, 2001). Gambar 2.5 merupakan bimetal strip yang umum dijual di pasaran.



Gambar 2. 4 Bimetal Al-Cu (alibaba.com)

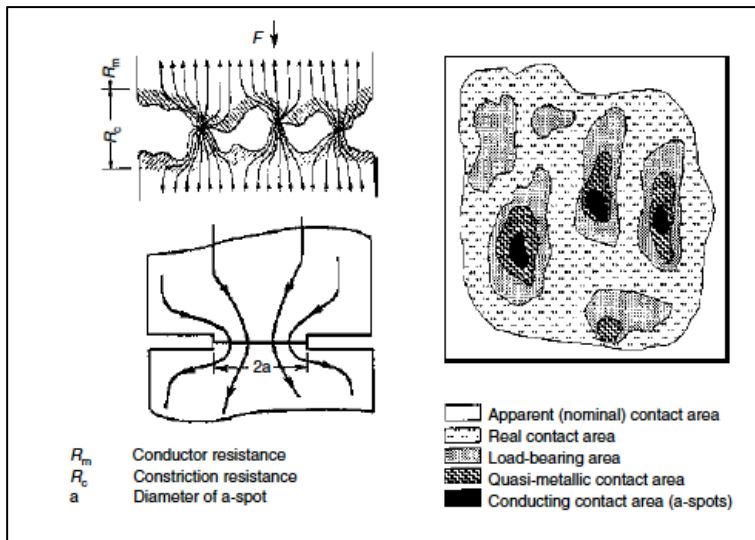


2.5 Kontak Elektrik

Kontak elektrik didefinisikan sebagai perantara (*interface*) pembawa arus listrik atau perangkat elektronik untuk menjamin kontinuitas rangkaian listrik. Tujuan utama dari sambungan listrik adalah membiarkan arus listrik tidak terganggu saat melintasi perantara kontak. Hal ini jelas bahwa kontak elektrik hanya dapat terjadi pada kontak antara logam dengan logam. Proses yang terjadi pada zona kontak cukup rumit dan tidak sepenuhnya dapat dijelaskan dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan.

Pada dasarnya kontak elektrik dapat dibagi menjadi dua kategori dasar: stasioner (diam) dan bergerak. Kontak stasioner dibagi menjadi *nonseparable* atau all-metal (dilas, disolder dan dilem) dan dijepit/*clamped* (dilipat, disekrup dan dibungkus). Sambungan *nonseparable* (permanen) memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan memberikan kontak listrik yang stabil dengan transisi resistansi yang rendah.

Menurut R. Holm pada bukunya *Electrical Contact* menyatakan bahwa permukaan real dari suatu material tidaklah rata namun terdiri dari banyak asperity. Oleh karena itu, apabila terjadi kontak antara dua logam, permukaan asperitas di antara dua logam meloloskan oksida alami dan lapisan permukaan pengotor, menciptakan kontak metalik lokal dan membuat sirkuit elektrik. Seiring dengan bertambahnya gaya, jumlah dan luas area kecil pada area kontak logam-logam bertambah sebagai akibat dari bolongnya lapisan oksida logam tersebut. Daerah ini, disebut a-spot, adalah satu-satunya jalan masuk untuk mengalirkan listrik. Konsekuensi langsung dari kontak berpori ini adalah ketika masuknya oksigen dan gas korosif lainnya untuk bereaksi dengan area logam yang terpapar mengurangi area kontak logam. Hal ini mengakibatkan hilangnya kontak listrik. Area kontak nyata (*the real contact area*) A_r hanya sebagian kecil dari luas A_a seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Skema dari penyempitan arus dan luas kontak area (Milenko Braunovic, 2007)

Hubungan gaya normal yang diberikan, F_c , kekerasan logam, H , dan luas daerah kontak semu, A_a , dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$F_c = \sum H A_a \quad (2.1)$$

Kekerasan, H , menurut Holm memiliki hubungan dengan tegangan *yield* (δ_y) dan dinyatakan dalam persamaan berikut

$$H = 3\delta_y \quad (2.2)$$

Hambatan listrik dari kontak yang dikarenakan penyempitan aliran arus disebut hambatan penyempitan (*constriction resistance*) dan berhubungan dengan sifat dasar logam seperti kekerasan dan resistivitas listrik. R. Holm menyatakan hambatan penyempitan (R_s) untuk a-spot dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$R_s = (\rho_1 + \rho_2)/4a \quad (2.3)$$

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

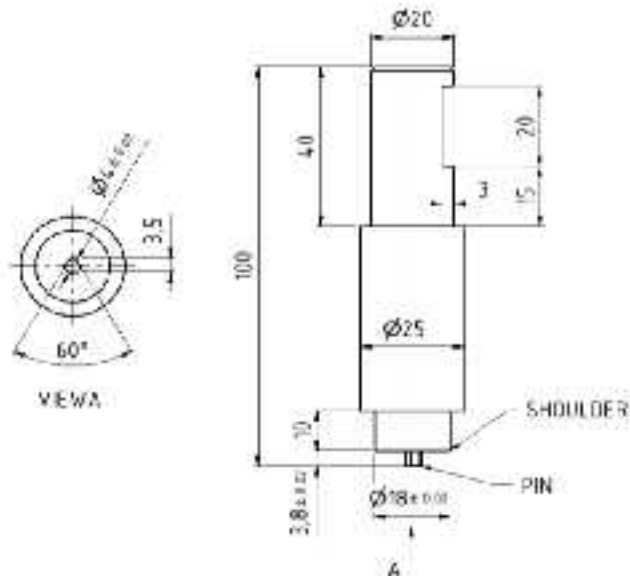


ρ_1 dan ρ_2 adalah hambatan dari logam yang saling kontak dan a adalah radius daerah kontak logam ke logam (Milenko Braunovic dkk, 2006).

2.6 Penelitian Sebelumnya

1. Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Pelat AA5083 Pada Proses Friction Stir Welding, Wisnu Wijayanto dkk. (2014)

Pada jurnalnya, Wisnu melakukan pengelasan pada AA5083 dengan metode *butt joint*. Dari beberapa variabel kemiringan tool (*tilt angle*), didapati bahwa kemiringan 3° memiliki hasil yang paling baik. Adapun penilaian baik ini didasari oleh nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik. Selain itu dari jurnal ini diambil skema tool yang terbuat dari baja Bohler K100 yang sudah mengalami proses pengerasan hingga 59HRc. Adapun geometri tool adalah seperti berikut



Gambar 2. 6 Geometri Mata Pahat

2. Optimising FSW process parameters to minimise defects and maximise fatigue life in 5083-H321 aluminium alloy, H. Lombard dkk. (2008)

Pada jurnalnya, Lombard membahas mengenai pengaruh parameter pengelasan (kecepatan rotasi tool dan kecepatan pemakanan tool) terhadap *frictional power input*. Dari pembasannya didapati hubungan antara panas yang dibutuhkan dengan parameter pengelasan. Adapun formulanya adalah seperti berikut:

$$Q_{in} = \eta \frac{2\pi NTorque}{v} \quad (2.4)$$



η adalah efisiensi heat transfer pada proses pengelasan (biasanya sekitar 0,9), N adalah kecepatan putar tool (rev/min) dan v adalah kecepatan pemakanan tool dalam satuan mm/min.

3. Microstructure and properties of Al/Cu bimetal in liquid–solid compound casting process, Yuan HU dkk. (2015)

Dalam jurnalnya, HU melakukan pengecoran antara Aluminium 6061 dan tembaga murni. Salah satu nilai yang dicari dalam penelitian ini adalah nilai konduktivitasnya. Untuk mendapatkan nilai konduktivitas benda uji, maka dilakukan pengujian resistansi terlebih dahulu menggunakan mikro-ohmmeter dengan tingkat akurasi 0,01 Ω . Data yang didapat berupa resistansi (R) dengan satuan Ohm. Kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 2.10 untuk mendapatkan nilai resistivitas (ρ)

$$\rho = (R \times S)/L \quad 2.5$$

L merupakan jarak antara kedua probe sedangkan S merupakan merupakan luas kontak. Dari nilai resistivitas maka nilai konduktivitas (σ) dapat diperoleh.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad 2.6$$

Dari pengujian ini didapatkan bahwa nilai resistivitas bimetal Al-Cu berkisar antara $2,61 \times 10^{-2}$ hingga $1,89 \times 10^{-2} (\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1})$. Sedangkan nilai konduktivitasnya berkisar antara $3,83 \times 10^5$ hingga $5,29 \times 10^5 (\text{S cm}^{-1})$.

4. Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al–Cu joint by intermetallic compounds, P. Xue (2010)

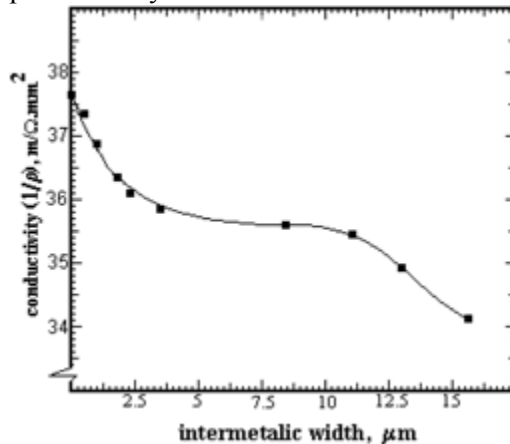
Dalam jurnalnya, Xue melakukan penelitian friction stir welding butt joint antara aluminium 1060 dan tembaga murni 99,9%. Salah satu pengujian yang dilakukannya adalah pengujian



kekerasan. Beban indentasi yang digunakan adalah 200 g dan dwell time 10 detik.

5. Growth Rate of Intermetallic Compounds in Al/Cu Bimetal Produced by Cold Roll Welding Process, M. Abbasi dkk. (2001)

Abbasi menyatakan bahwa dengan bertambah lebarnya intermetalik maka menaikkan hambatan benda kerja. Hal ini berdampak pada turunnya nilai konduktivitas.

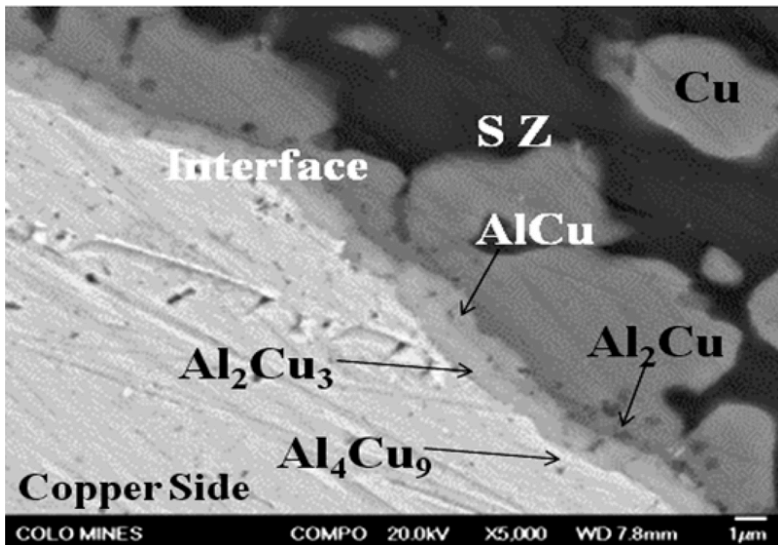


Gambar 2. 7 Variasi Nilai Konduktivitas dan Lebar intermetalik

Senyawa intermetalik yang muncul pada proses penyambungan aluminium dan tembaga adalah Cu_3Al , Cu_4Al_3 , CuAl dan CuAl_2 .

6. Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar joints of aluminium alloy and pure copper by friction stir welding, V.C. Sinha (2016)

Pada penelitiannya, Sinha melakukan penyambungan antara aluminium 6351 dan tembaga murni menggunakan FSW butt joint. Hasil dari pengujian SEM yang dilakukan adalah:



Gambar 2. 8 Hasil SEM daerah sambungan Al-Cu

Setelah dilakukan pengujian XRD diketahui bahwa pada daerah interface tersebut tersusun atas Al_2Cu , Al_2Cu_3 , AlCu dan Al_4Cu_9



(Halaman Sengaja Dikosongkan)

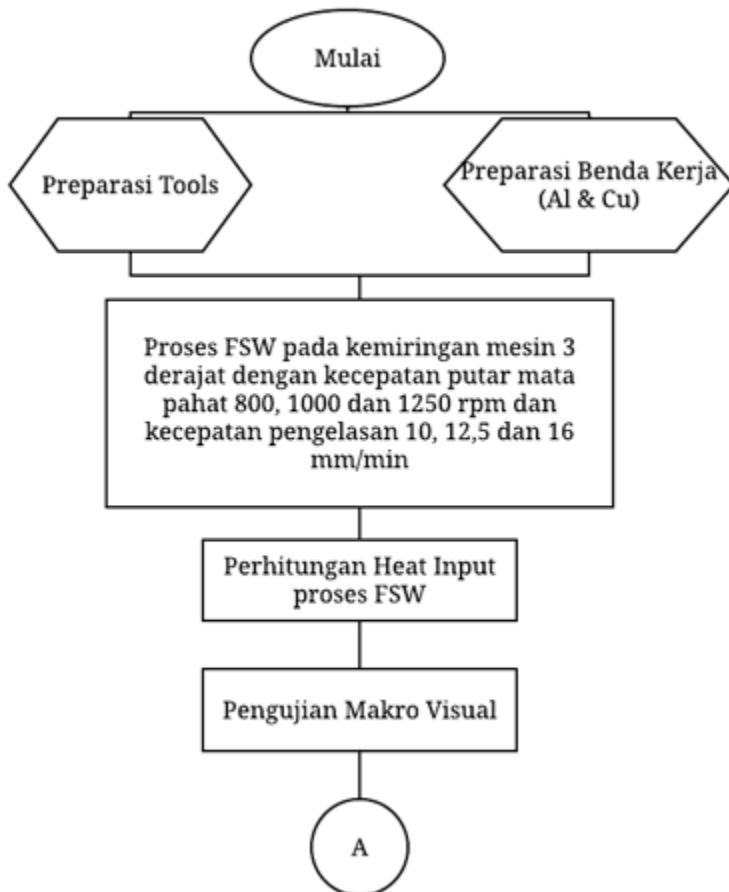


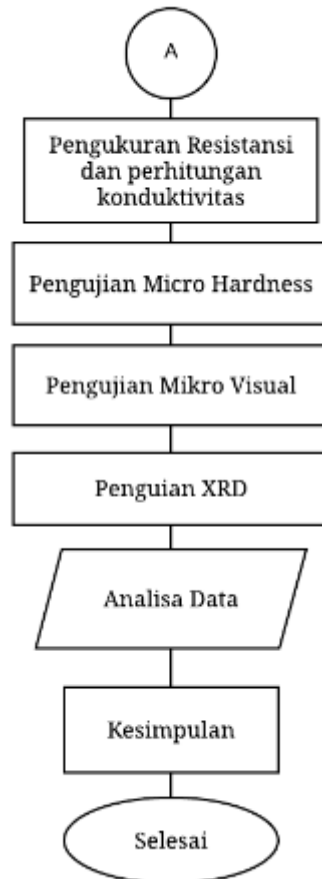
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Berikut ini adalah diagram alir dari penelitian tugas akhir





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Mesin bubut – Solo Techno Park
2. Wire cut
3. Mikro ohmmeter
4. Mata pahat (Tool steel H13)
5. Kamera DSLR
6. Backing Plate (Pelat baja)
7. Penggaris besi
8. Mesin Mikro Hardness
9. Mikroskop Optik
10. Mesin XRD

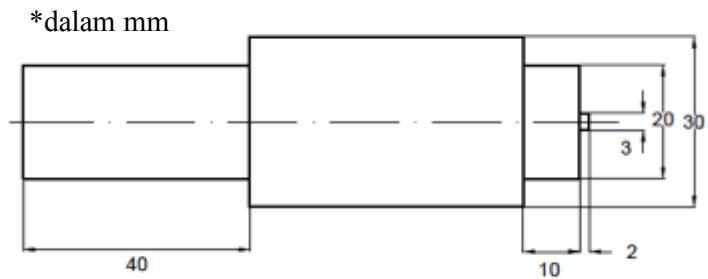
3.2.2 Bahan Penelitian

1. Aluminium 6061 150mm x 40mm x 3mm
2. Tembaga murni 150mm x 50mm x 3mm
3. Larutan etsa Keller (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ dan 190 ml air destilasi)

3.3 Prosedur Penelitian

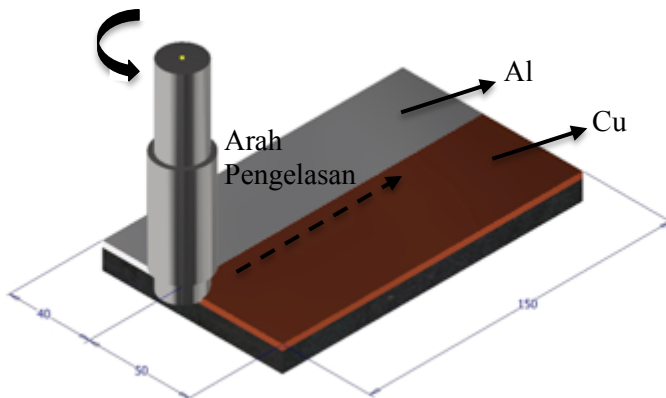
Berikut adalah prosedur pelaksanaan penelitian tugas akhir:

1. Benda kerja tembaga dipotong hingga memiliki luas permukaan 50 mm x 150 mm dan ketebalan 6mm. Sedangkan untuk Aluminium luas permukaannya 40 mm x 150 mm dengan ketebalan 3mm.
2. Membubut mata pahat steel hingga menjadi mata pahat dengan dimensi seperti gambar berikut:



Gambar 3. 2 Dimensi Mata Pahat

3. Meletakkan benda kerja seperti gambar berikut



Gambar 3. 3 Ilustrasi Proses Pengelasan 3D



Gambar 3. 4 Ilustrasi Pengelasan Tampak Samping



Gambar 3. 5 Dokumentasi Proses Pengelasan (1)

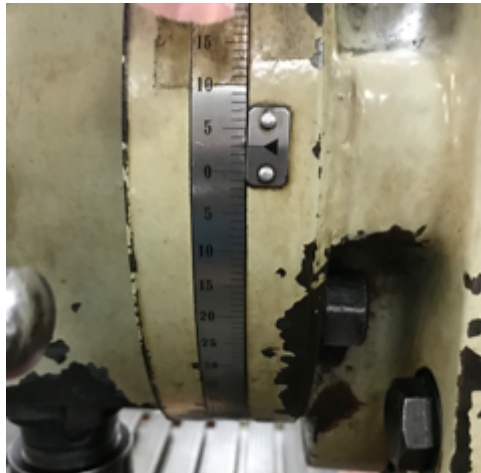


Gambar 3. 6 Dokumentasi Proses Pengelasan (2)

4. Melakukan pengelasan FSW dengan sudut tool sebesar 3°



Gambar 3. 7 Kemiringan Mesin (1)



Gambar 3. 8 Kemiringan Mesin (2)

5. Memotong benda kerja dengan ukuran 4 mm x 4 cm



Gambar 3. 9 Contoh Spesimen Uji

6. Melakukan pengujian makro visual
7. Melakukan pengukuran nilai resitansi
8. Melakukan pengujian mikro hardness
9. Melakukan analisa data dari hasil penelitian
10. Membuat kesimpulan



3.4 Pengujian dan Pengukuran

3.4.1 Pengujian Makro Visual

Pengujian bertujuan untuk melihat penampang samping hasil pengelasan. Pengujian ini menggunakan kamera. Adapun hasil pengujian adalah seperti gambar berikut



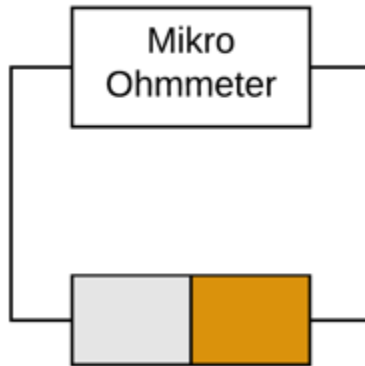
Gambar 3. 10 Contoh Hasil Pengujian Makro Visual

3.4.2 Pengukuran Nilai Resistansi

Pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan nilai resistansi dari sambungan Al-Cu yang kemudian diolah nilai tersebut untuk mendapatkan nilai resistivitas sambungan Al-Cu. Setelah mendapatkan nilai resistivitas barulah nilai konduktivitas dapat diperoleh. Pengukuran ini berdasarkan standar ASTM B193-16.

Pengujian ini dilakukan menggunakan mikro Ohmmeter Agilent 34420A di Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Tangerang Selatan.

Mekanisme pengujiannya adalah sebagai berikut



Gambar 3. 11 Skema Pengujian Resistansi



Gambar 3. 12 Mesin Mikro Ohmmeter

Untuk mendapatkan nilai konduktivitas listrik (σ) sambungan maka digunakan persamaan berikut:

$$\rho = (R \times S) / L \quad 2.5$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

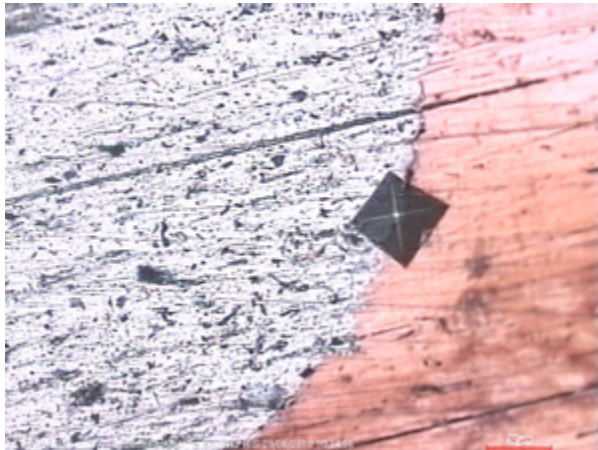
2.6

3.4.3 Pengujian Mikro Hardness

Pengujian mikro hardness bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada daerah sambungan Al-Cu. Adapun permukaan yang diuji adalah penampang melintang benda uji. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pembebanan yang dipakai adalah 200 g dan waktu *dwelt* selama 10 detik.



Gambar 3. 13 Alat Uji Mikro Hardness



Gambar 3. 14 Penampang Pengujian Mikro Hardness

3.4.4 Pengujian Mikro Visual

Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop trinokular Olympus BX51M di Laboratorium Metalurgi Teknik Material ITS Surabaya. Bagian yang diamati dari benda uji adalah bagian penampang (*cross section*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui apakah terbentuk senyawa intermetalik atau tidak pada sambungan Al-Cu

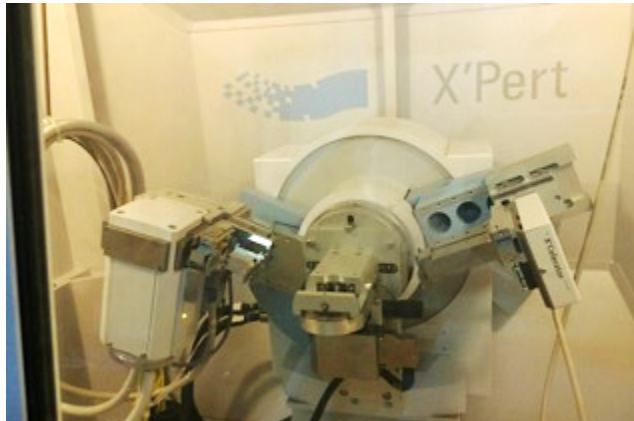
Sebelum melakukan pengujian di bawah mikroskop, benda uji etsa terlebih dahulu menggunakan larutan Keller yang terdiri dari 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ dan 190 ml air destilasi.



Gambar 3. 15 Mikroskop Trinokular Olympus

3.4.5 Pengujian X-Ray Diffraction

XRD digunakan untuk identifikasi atau unsur (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi kimia (analisis kuantitatif). Pengujian XRD dilakukan untuk senyawa atau paduan yang terbentuk pada sambungan benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji X-Ray Diffraction dengan merk PANalytical X'Pert Pro yang terdapat pada Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.



Gambar 3. 16 Mesin Uji XRD PANalytical

3.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian (1)

Material	RPM	V (MM/MIN)	Makro Visual	Resistansi	Mikro Hardness
Al-Cu	800	10	✓	✓	✓
	800	12,5	✓	✓	✓
	800	16	✓	✓	✓
	1000	10	✓	✓	✓
	1000	12,5	✓	✓	✓
	1000	16	✓	✓	✓
	1250	10	✓	✓	✓
	1250	12,5	✓	✓	✓
	1250	16	✓	✓	✓



Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian (2)

Material	RPM	V (MM/MIN)	Mikro Visual	XRD
Al-Cu	800	10	✓	
	800	12,5	✓	✓
	800	16	✓	✓
	1000	10	✓	
	1000	12,5		
	1000	16		✓
	1250	10	✓	✓
	1250	12,5		
	1250	16		



(Halaman Sengaja Dikosongkan)



BAB IV

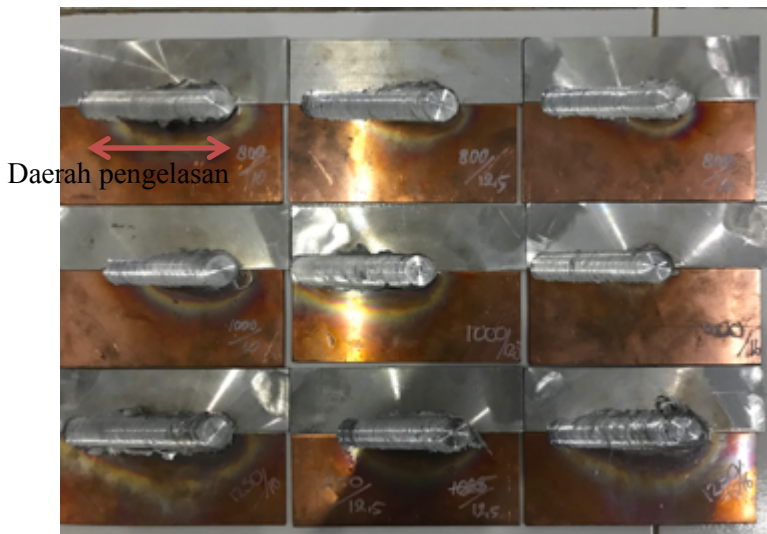
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, didapatkan data berupa foto dan data numerik yang meliputi pengujian makro, pengukuran resistansi dan pengujian mikro hardness

4.1.1 Hasil Analisa Waktu Pengelasan

Hasil pengelasan untuk semua benda uji adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Semua Benda Uji

Untuk menghitung waktu yang dibutuhkan, digunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{s}{t} \quad 4.1$$

s merupakan panjang daerah pengelasan. Panjang daerah pengelasan yang digunakan adalah yang terpendek yaitu 8,5 cm.



Maka didapat waktu pengelasan untuk semua benda uji sebagai berikut:

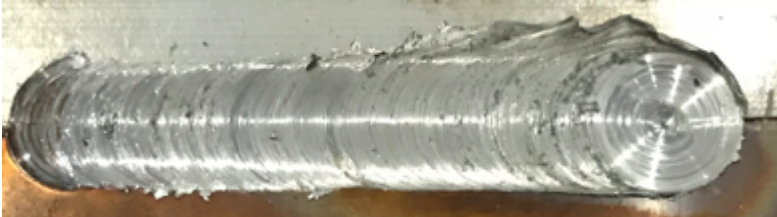
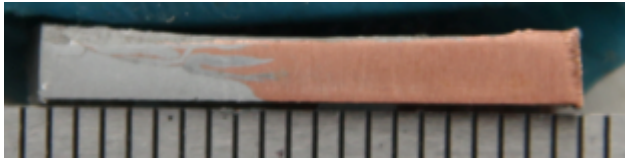
Tabel 4. 1 Waktu Pengelasan

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
800 RPM	510 s	408 s	319 s
1000 RPM	510 s	408 s	319 s
1250 RPM	510 s	408 s	319 s

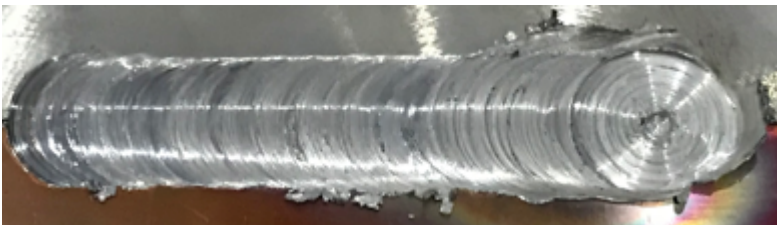
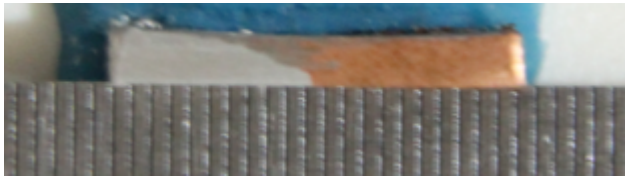
4.1.2 Hasil Pengujian Makro Visual



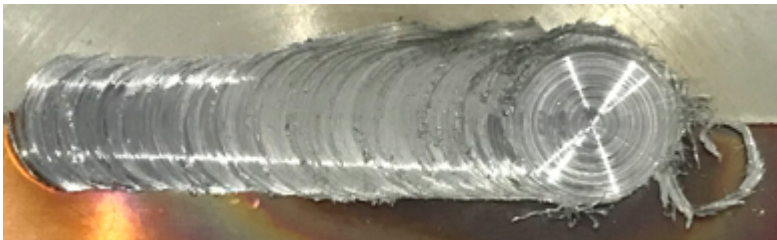
Gambar 4. 2 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=10$ mm/min



Gambar 4. 3 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=12,5$ mm/min



Gambar 4. 4 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=800$ rpm dan $v=16$ mm/min



Gambar 4. 5 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=10$ mm/min



Gambar 4. 6 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=12,5$ mm/min

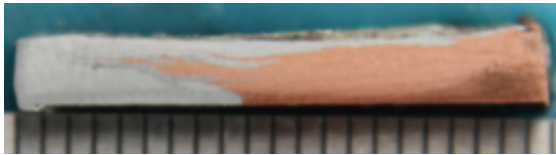
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. 7 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1000$ rpm dan $v=16$ mm/min



Gambar 4. 8 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=10$ mm/min



Gambar 4. 9 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=12,5$ mm/min



Gambar 4. 10 Penampang samping dan atas hasil pengelasan dengan $N=1250$ rpm dan $v=16$ mm/min



Dari hasil pengujian makro visual, didapatkan bahwa tidak ada cacat *cavity* yang terbentuk pada setiap percobaan. Dari setiap kenaikan kecepatan putar mata pahat, didapati jumlah tembaga yang teraduk ke daerah aluminium semakin banyak.

4.1.3 Hasil Pengujian Mikro Hardness

Hasil pengukuran mikro hardness adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Nilai Kekerasan Base Metal (HV)

	Aluminium	Tembaga
Pengukuran 1	60,5	79,2
Pengukuran 2	66,5	80,1
Rata-rata	63,5	79,65

Tabel 4. 3 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 800 RPM (HV)

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	267,3	90,1	134,6
Pengukuran 2	60	83,3	398,6
Pengukuran 3	408,7	90,9	107,9
Rata-rata	245,333	88,1	213,7

Tabel 4. 4 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 1000 RPM (HV)

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	88	101,7	124,4
Pengukuran 2	123	63,3	146
Pengukuran 3	100,8	64,3	134,5
Rata-rata	103,933	76,433	134,967

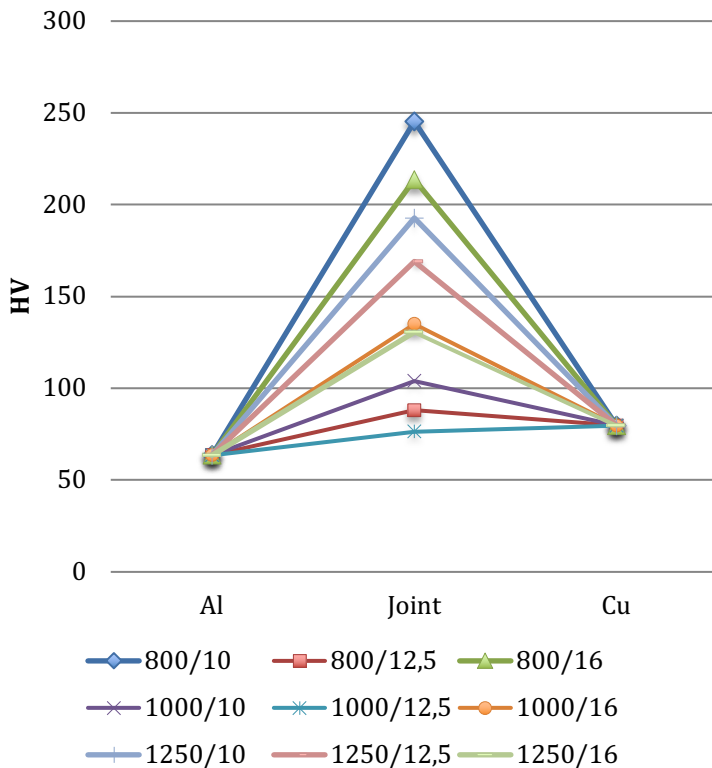


Tabel 4. 5 Data Nilai Kekerasan untuk Variabel 1250 RPM (HV)

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	142,5	107,3	114
Pengukuran 2	191,1	227,1	99,6
Pengukuran 3	244,7	172,8	178
Rata-rata	192,767	169,067	130,533

Tabel 4. 6 Nilai Kekerasan Benda Uji (HV)

	10 mm/min	12,5 mm/min	16 mm/min
800 RPM	245,333	88,100	213,700
1000 RPM	103,933	76,433	134,967
1250 RPM	192,767	169,067	130,533



Gambar 4. 11 Nilai Kekerasan Benda Uji

Hasil dari pengujian mikro hardness didapati bahwa nilai kekerasan delapan benda uji berada di atas kekerasan base material aluminium dan tembaga, sedangkan satu benda uji dengan kecepatan putar mata pahat 1000 RPM dan kecepatan pengelasan 12,5 mm/min memiliki kekerasan dibawah base material aluminium dan tembaga.



4.1.4 Hasil Analisa Heat Input

Untuk menghitung heat input pada proses pengelasan, digunakan persamaan berikut:

$$Q_{in} = \eta \frac{2\pi N \text{Torque}}{v} \quad (4.2)$$

Nilai torque didapat dari mesin adalah 68,5 Nm untuk N=800 RPM, 67,5 Nm untuk N=1000 RPM dan 66,5 Nm untuk N=1250 RPM. Perhitungan heat input untuk proses pengelasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Data Heat Input Untuk N=800 RPM

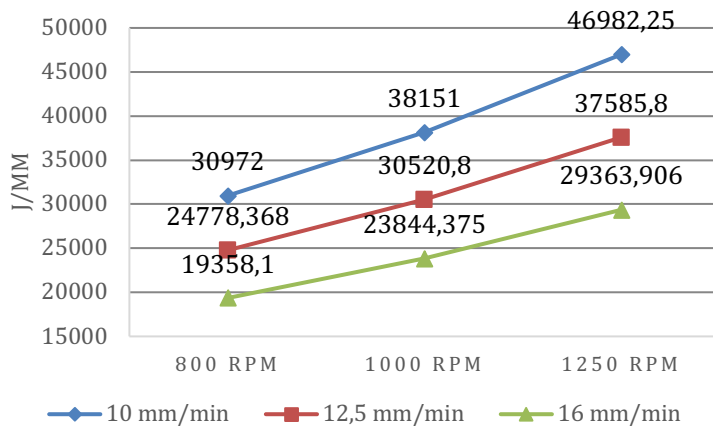
Torque (Nm)	68,5		
N (rev/min)	800		
V (mm/min)	10	12,5	16
Q (J/mm)	30972,960	24778,368	19358,100

Tabel 4. 8 Data Heat Input Untuk N= 1000 RPM

Torque (Nm)	67,5		
N (rev/min)	1000		
V (mm/min)	10	12,5	16
Q (J/mm)	38151,000	30520,800	23844,375

**Tabel 4. 9** Data Heat Input Untuk N= 1250 RPM

Torque (Nm)	66,5		
N (rev/min)	1250		
V (mm/min)	10	12,5	16
Q (J/mm)	46982,250	37585,800	29363,906

**Gambar 4. 12** Heat Input Benda Uji**Tabel 4. 10** Heat Input Benda Uji (J/mm)

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
800 RPM	30972,960	24778,368	19358,100
1000 RPM	38151,000	30520,800	23844,375
1250 RPM	46982,250	37585,800	29363,906



Dari hasil analisa heat input, didapati bahwa nilai heat input akan semakin tinggi dengan naiknya kecepatan putar mata pahat dan turunnya kecepatan pengelasan.

4.1.5 Hasil Pengukuran Resistansi

Hasil dari pengukuran resistansi adalah sebagai berikut

Tabel 4. 11 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 800 RPM

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	72 $\mu\Omega$	92 $\mu\Omega$	109 $\mu\Omega$
Pengukuran 2	78 $\mu\Omega$	92 $\mu\Omega$	107 $\mu\Omega$
Pengukuran 3	70 $\mu\Omega$	92 $\mu\Omega$	102 $\mu\Omega$
Rata-rata	73,33 $\mu\Omega$	92 $\mu\Omega$	106 $\mu\Omega$

Tabel 4. 12 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 1000 RPM

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	103 $\mu\Omega$	93 $\mu\Omega$	96 $\mu\Omega$
Pengukuran 2	103 $\mu\Omega$	85 $\mu\Omega$	98 $\mu\Omega$
Pengukuran 3	103 $\mu\Omega$	91 $\mu\Omega$	95 $\mu\Omega$
Rata-rata	103 $\mu\Omega$	89,667 $\mu\Omega$	96,33 $\mu\Omega$

Tabel 4. 13 Data Pengukuran Resistansi untuk Variabel 1250 RPM

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Pengukuran 1	87 $\mu\Omega$	88 $\mu\Omega$	107 $\mu\Omega$
Pengukuran 2	84 $\mu\Omega$	88 $\mu\Omega$	104 $\mu\Omega$
Pengukuran 3	90 $\mu\Omega$	91 $\mu\Omega$	105 $\mu\Omega$
Rata-rata	87 $\mu\Omega$	89 $\mu\Omega$	105,33 $\mu\Omega$

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Data resistansi yang didapat kemudian dirubah menjadi nilai resistivitas menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = (R \times A)/L \quad 4.3$$

Nilai A yang digunakan adalah 20 mm² untuk spesimen dengan variabel 800 RPM dan 16 mm² untuk spesimen yang lainnya (hasil perkalian tebal dengan lebar spesimen yang sudah dipotong). Sedangkan nilai L nya adalah 4 cm (0,04 m). Maka didapatkan nilai resistivitas dari material uji seperti berikut

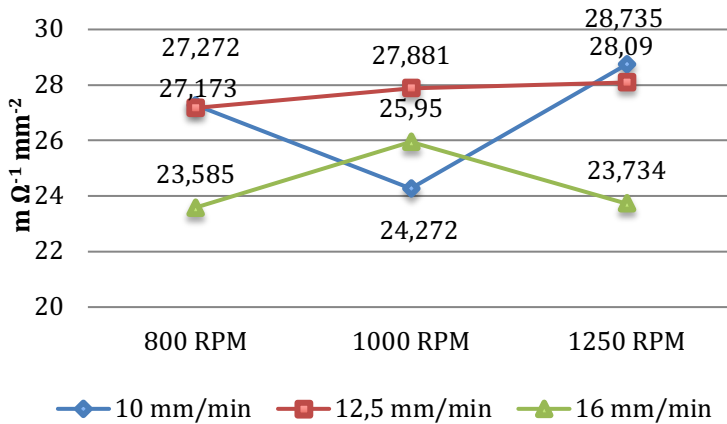
Tabel 4. 14 Nilai Resistivitas dalam Satuan $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
800 RPM	0,036	0,036	0,042
1000 RPM	0,041	0,036	0,038
1250 RPM	0,034	0,035	0,042

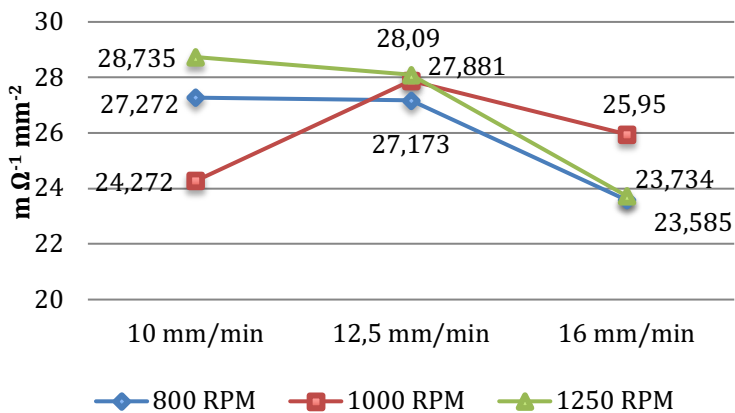
Setelah mendapatkan nilai resistivitas (ρ), nilai konduktivitas dapat diperoleh. Nilai konduktivitas merupakan ($1/\rho$)

Tabel 4. 15 Nilai Konduktivitas dalam Satuan $\text{m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
800 RPM	27,272	27,173	23,585
1000 RPM	24,272	27,881	25,950
1250 RPM	28,735	28,09	23,734



Gambar 4. 13 Pengaruh Kecepatan Putar Mata Pahat terhadap Nilai Konduktivitas Benda Uji

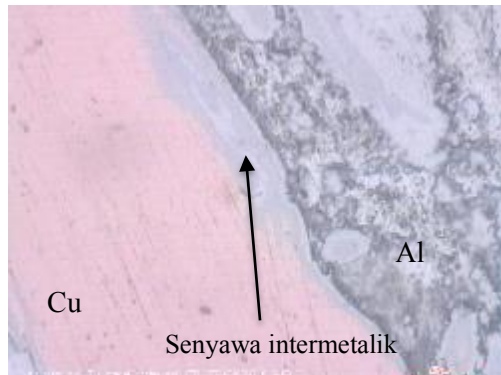


Gambar 4. 14 Pengaruh Kecepatan Pengelasan terhadap Nilai Konduktivitas Benda Uji

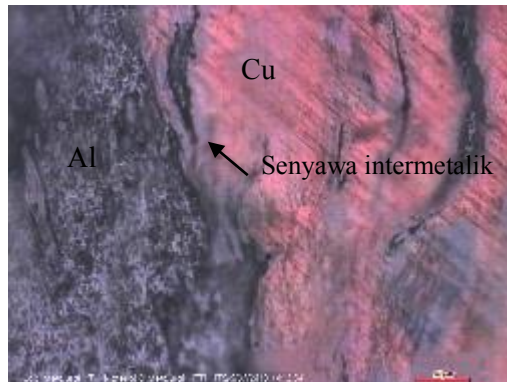


Nilai konduktivitas sambungan aluminium dan tembaga memiliki kecenderungan naik dengan naiknya kecepatan putar mata pahat. Sedangkan nilai konduktivitas memiliki kecenderungan turun dengan naiknya kecepatan pengelasan

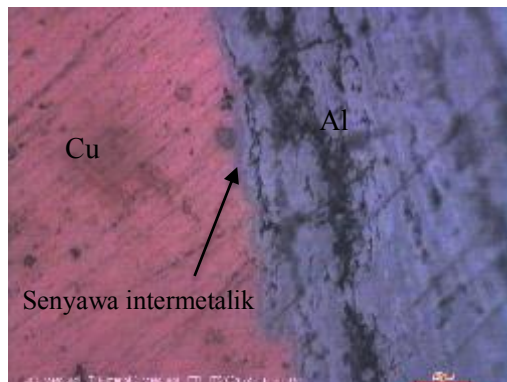
4.1.6 Hasil Analisa Mikro Visual



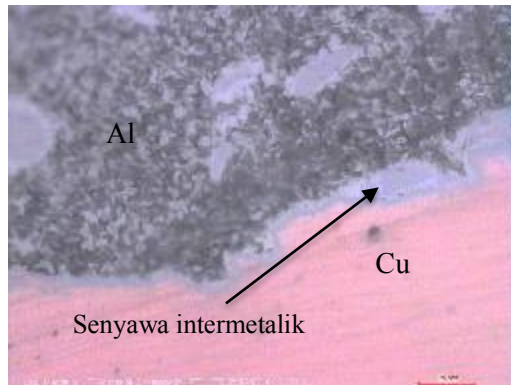
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Makro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min



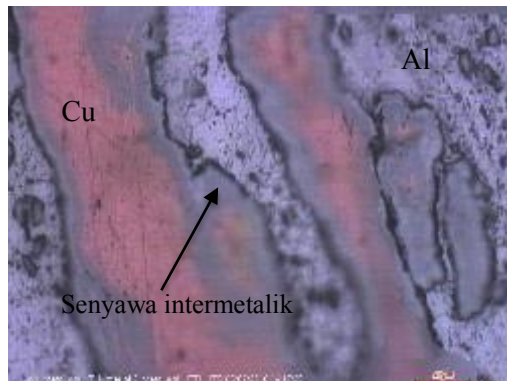
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 12,5mm/min



Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16mm/min



Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 1000 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min



Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Mikro Visual Benda Uji dengan Kecepatan Putar 1250 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10mm/min

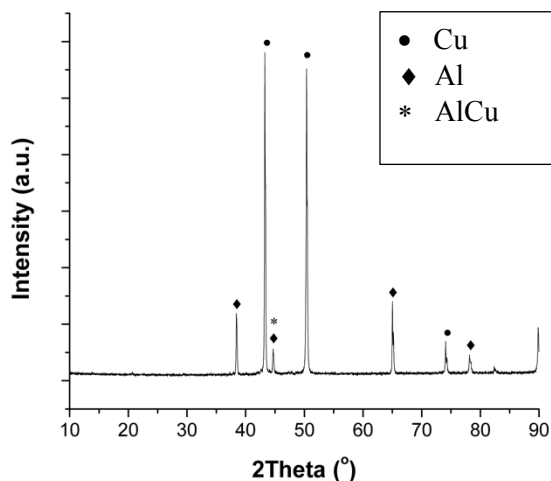
Dari hasil yang ditunjukkan gambar 4.15 hingga gambar 4.19 didapati bahwa pada sambungan aluminium dan tembaga terdapat daerah yang tidak terkorosi akibat proses etsa. Daerah



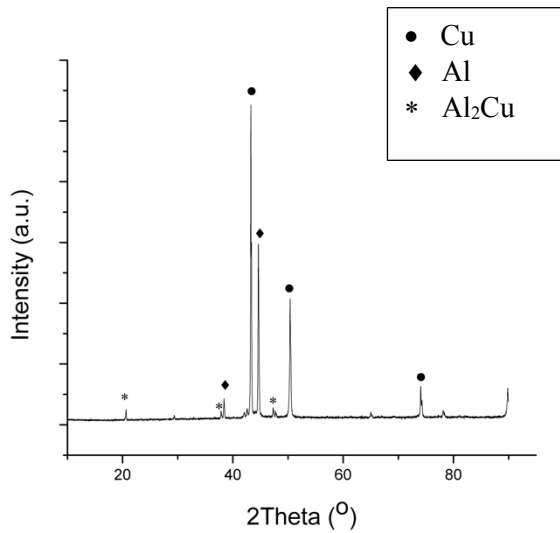
tembaga berwarna coklat dan daerah aluminium berwarna abu-abu yang terdapat bitnik-bintik hitam akibat proses pengetsaan. Daerah dengan warna abu-abu terang yang muncul pada sambungan Al-Cu merupakan senyawa intermetalik (Xue, 2011)

4.1.7 Hasil Analisa XRD

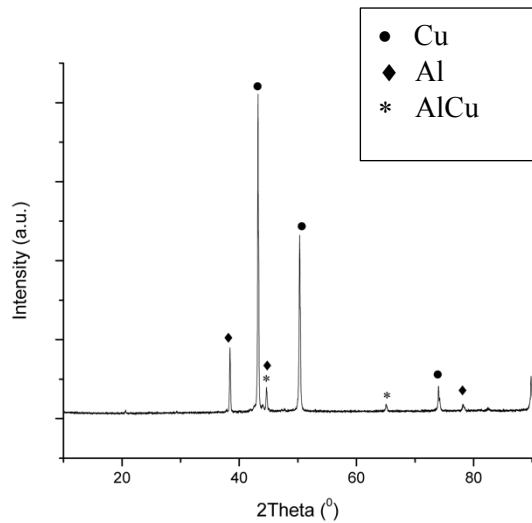
Pengujian XRD ini dilakukan sebagai tindak lanjut ditemukannya daerah yang diduga merupakan senyawa intermetalik pada sambungan aluminium dan tembaga dari pengujian mikro visual. Dari pengujian XRD, didapati hasil sebagai berikut:



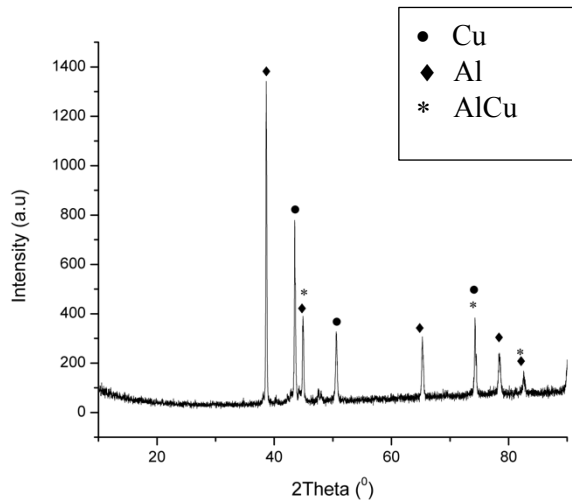
Gambar 4. 20 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 12,5 mm/min



Gambar 4. 21 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16 mm/min



Gambar 4. 22 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 1000 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16 mm/min



Gambar 4. 23 Hasil XRD Benda Uji dengan Kecepatan Putar Mata Pahat 1250 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10 mm/min

Dari gambar 4.20, gambar 4.22 dan gambar 4.23 didapati bahwa di sambungan Al-Cu terdapat intermetalik AlCu dalam intensitas yang kecil. Sedangkan pada gambar 4.21 terdapat Al_2Cu pada sambungan.

4.1.7 Hasil Analisa Keseluruhan

Untuk menentukan variabel yang memiliki tingkat keoptimuman tertinggi dilakukan pengalihan nilai berdasarkan tiap analisa. Analisa yang digunakan dalam penentuan variabel dengan tingkat keoptimuman paling tinggi ini adalah analisa waktu pengelasan, analisa mikro hardness, analisa heat input dan analisa nilai konduktivitas listrik.

Untuk analisa waktu pengelasan, waktu tercepat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengelasan mendapat nilai 3 sedangkan waktu terlama mendapatkan 1.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Untuk nilai kekerasan mikro hardness nilai kekerasan terendah mendapatkan nilai 9 sedangkan kekerasan tertinggi mendapatkan nilai 1.

Untuk heat input yang dibutuhkan pada proses pengelasan, nilai terkecil mendapatkan nilai 9 dan nilai terbesar mendapatkan nilai 1.

Dan terakhir adalah nilai konduktivitas listrik. Nilai konduktivitas listrik terbesar mendapatkan nilai 9 dan nilai konduktivitas terkecil mendapatkan nilai 1.

Maka setelah dilakukan analisa secara keseluruhan maka didapat data sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 800 RPM

	$v = 10 \text{ mm/min}$	$v = 12,5 \text{ mm/min}$	$v = 16 \text{ mm/min}$
Waktu Pengelasan	1	2	3
Kekerasan	1	8	2
Heat input	4	7	9
Konduktivitas	6	5	1
Total	24	560	45



Tabel 4. 17 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 1000 RPM

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Waktu Pengelasan	1	2	3
Kekerasan	7	9	5
Heat input	2	5	8
Konduktivitas	3	7	4
Total	42	630	480

Tabel 4. 18 Analisa Keseluruhan Variabel Kecepatan Putar Mata Pahat 1250 RPM

	v = 10 mm/min	v = 12,5 mm/min	v = 16 mm/min
Waktu Pengelasan	1	2	3
Kekerasan	3	4	6
Heat input	1	3	6
Konduktivitas	9	8	2
Total	27	192	216

4.2 Pembahasan

Analisa kualitas hasil pengelasan terdiri dari analisis waktu pengelasan, analisis pengujian makro, analisis pengujian mikro hardness dan analisis perhitungan heat input yang dibutuhkan. Pada analisis waktu pengelasan didapati bahwa pengelasan pada variabel kecepatan pengelasan 10 mm/min memiliki waktu terlama untuk menyelesaikan proses pengelasan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



yaitu 510 detik. Sedangkan waktu pengelesan tercepat adalah pada kecepatan pengelasan 16 mm/min (319 detik).

Pada pengujian makro visual, dari setiap kenaikan kecepatan putar mata pahat, didapati jumlah tembaga yang teraduk ke daerah aluminium semakin banyak. Ini dapat dilihat dengan mengamati gambar 4.1, gambar 4.4 dan gambar 4.7. Fenomena ini berlaku untuk variabel 1000 RPM (gambar 4.2, gambar 4.5 dan gambar 4.8) dan 1250 RPM juga (gambar 4.3, gambar 4.6 dan gambar 4.9). Namun untuk gambar 4.3 dan gambar 4.6, tidak terjadi perubahan yang terlalu signifikan pada perpindahan tembaga menuju aluminium.

Dari pengujian mikro visual didapati bahwa pada bagian sambungan aluminium dan tembaga terbentuk daerah dengan warna abu-abu terang. Menurut Xue, daerah dengan warna abu-abu terang yang muncul pada sambungan aluminium dan tembaga merupakan senyawa intermetalik. Daerah permukaan antar muka sambungan aluminium dan tembaga rentan terhadap nukleasi dan pertumbuhan senyawa intermetalik pada temperatur lebih besar dari 120⁰C (M. Abbasi, 2001). Setelah dilakukan pengujian XRD, daerah tersebut diidentifikasi terbentuk senyawa intermetalik dengan intensitas kecil. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.20, gambar 4.22 dan gambar 4.23 dimana terbentuk senyawa AlCu sedangkan pada gambar 4.21 terbentuk senyawa Al₂Cu.

Pembentukan senyawa intermetalik diperkuat dengan data dari pengujian mikro hardness. Dari sembilan benda uji, delapan benda uji memiliki nilai kekerasan di atas base material (aluminium dan tembaga). Nilai kekerasan benda uji berada pada kisaran 76,433 HV – 245,33 HV. Untuk nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar 800 RPM dan kecepatan pengelasan 10 mm/min. Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah didapatkan pada sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar 1000 RPM dan kecepatan pengelasan 12,5

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



mm/min. Nilai kekerasan yang kecil mengindikasikan pembentukan senyawa intermetalik yang lebih sedikit dibandingkan dengan variabel benda uji lainnya. senyawa AlCu dan Al₂Cu yang terbentuk, termasuk ke dalam senyawa yang memiliki ikatan kovalen yang mengakibatkan memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibanding material penyusunnya (Aluminium dan tembaga) (Antoine Gueydan, 2014). Pada penelitian Kasim K. Alshemary, didapati nilai kekerasan pada sambungan aluminium dan tembaga adalah 180 HV. Kekerasan ini dipengaruhi keberadaan senyawa intermetalik AlCu dan Al₄Cu₉ yang terbentuk pada proses pengelasan (Kasim K. Alshemary, 2015).

Dilihat dari analisa heat input, didapatkan nilai heat input terbesar adalah sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar mata pahat 1250 RPM dan kecepatan pengelasan 10 mm/min (46982,250 J/mm). Sedangkan nilai terkecil adalah sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar 800 RPM dan kecepatan pengelasan 16 mm/min (19358,100 J/mm). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Elangovan dan Balasubramanian dimana semakin tinggi kecepatan putar mata pahat (atau semakin rendahnya kecepatan pengelasan) menghasilkan heat input yang lebih tinggi. Dan dengan bertambahnya nilai heat input, menyebabkan meningkatnya kemungkinan terbentuknya senyawa intermetalik (Xue, 2011; Liu, 2011 dan Barekatin, 2014).

Dari analisa nilai konduktivitas listrik yang dilakukan, nilai konduktivitas listrik terbesar didapatkan pada pengukuran sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar 1250 RPM dan kecepatan pengelasan 10 mm/min ($28,735 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$). Dan untuk nilai terkecil didapatkan pada pengukuran sambungan aluminium dan tembaga dengan variabel kecepatan putar 800 RPM dan kecepatan pengelasan 16 mm/min ($23,585 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$). Dari sembilan benda uji, didapati rata-rata nilai konduktivitasnya adalah $26,299 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$. Maka variabel



kecepatan pengelasan 12,5 mm/min merupakan variabel yang terbaik dikarenakan ketiga nilai konduktivitasnya berada diatas rata-rata nilai konduktivitas keseluruhan. Untuk nilai konduktivitas listrik aluminium 6061 dan tembaga berturut-turut adalah 35,2 dan 57,1 $\text{m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$ (Yuan HU, 2015).

Nilai konduktivitas listrik sambungan aluminium dan tembaga akan turun seiring dengan kenaikan heat input (Elangovan, 2007 dan M.Abbasi, 2001). Pada benda uji dengan kecepatan putar 1000 RPM dan kecepatan pengelasan 12,5 mm/min walaupun nilai kekerasan yang didapat cukup tinggi namun nilai konduktivitas yang didapat juga masih tinggi (28,09 $\text{m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$). Hal ini dikarenakan pertumbuhan intermetalik yang tidak kontinyu di sepanjang sambungan aluminium dan tembaga. Penetrasi mata pahat menjadi bagian vital dan tidak dapat dikontrol dengan baik pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan panas yang tercipta 83% dihasilkan oleh bagian shoulder mata pahat (H.B. Schmidt, 2007). Semakin sedikit area shoulder mata pahat yang masuk ke sambungan aluminium dan tembaga maka semakin sedikit panas yang tercipta. Hal ini tentu berpengaruh pada banyak sedikitnya intermetalik yang terbentuk. Tentunya dengan berubahnya senyawa intermetalik yang terbentuk maka mempengaruhi nilai konduktivitas sambungan. Nilai konduktivitas dari senyawa intermetalik sepertujuh dari nilai konduktivitas tembaga atau seperlima dari nilai konduktivitas aluminium, menunjukkan bahwa karena pembentukan senyawa ini konduktivitas total sambungan aluminium dan tembaga nilainya berkurang (M. Abbasi, 2001).

Konduktivitas diartikan sebagai indikasi kemudahan suatu material untuk mengalirkan arus listrik. Pada logam, mekanisme perpindahan arus listrik dibawa oleh elektron atau disebut sebagai konduksi elektrik. Pada senyawa intermetalik AlCu dan Al₂Cu, didapati bahwa keduanya merupakan senyawa dengan ikatan kovalen (Antoine Gueydan, 2014). Ikatan kovalen memiliki konfigurasi yang stabil dikarenakan atom-atom yang

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



berdekatan berbagi elektronnya. Jika dibandingkan dengan logam, elektron valensi dari atom logam tidak berikatan pada apapun. Hal ini memungkinkan untuk terbentuknya lautan elektron bebas. Dibawah medan listrik, elektron bebas bergerak melalui logam mengalirkan muatan listrik saat bergerak (Callister, 2001). Dengan tidak adanya elektron bebas pada senyawa intermetalik tersebut, maka kemampuan untuk mengalirkan arus pada senyawa intermetalik menjadi buruk.

Dari keempat analisa yang dilakukan, didapati bahwa variabel dengan kecepatan pengelasan teroptimum adalah dengan kecepatan pengelasan 12,5 mm/min. Hal ini didasari atas nilai konduktivitas yang diperoleh pada variabel ini terbilang baik dikarenakan berada diatas rata-rata nilai konduktivitas seluruh benda uji.



(Halaman Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengelasan terbaik diperoleh pada kecepatan pengelasan 12,5 mm/min dengan kecepatan putar mata pahat 800, 1000 dan 1250 RPM
2. Nilai konduktivitas listrik Al-Cu pada hasil pengelasan variabel kecepatan pengelasan 12,5 mm/min berkisar antara $27,173 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$ dan $28,09 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$

5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan mengenai penelitian ini antara lain :

1. Ketebalan benda uji yang digunakan pada pengujian friction stir welding diusahakan dibawah 3mm
2. Aplikasi dari penelitian friction stir welding dapat lebih diragamkan seperti aplikasi di pesawat terbang
3. Pembelian bahan dapat dilakukan dengan mencari bahan dalam potongan kecil



(Halaman Sengaja Dikosongkan)

Daftar Pustaka

- Abbasi, M., 2001. Growth rate of intermetallic compounds in Al/Cu bimetal produced by cold roll welding process. Elsevier
- Alshemary, Kasim K., 2015. The effect of rotational speeds on the mechanical properties of dissimilar friction stir welding for commercially pure aluminium and copper. The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering, Vol.15, No2
- B193-16., 2016. Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials. ASTM International
- Brady, G. S., 2002. Materials Handbook Fifteenth Edition. McGraw-Hill, Inc
- Braunovic, M., 1993. Effect of Electrical Current in Bimetallic Aluminium-Copper Joint. IEEE Trans. Paper No. CHMT-93-10: 261-268
- Braunovic, M., 2006. Electrical contacts: fundamentals, applications and technology. CRC Press, Boca Raton
- Bykov, A. A., 2011. Bimetal Production and Applications.
- Callister, W. D., 2001. Fundamentals of Materials Science and Engineering. John Wiley & Sons, Inc.
- Cobden, Ron., 1994. Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys. European Aluminium Association (EAA)
- Davenport, W.G., 2000. Extractive Metallurgy of Copper. Elsevier

Elangovan, K., Balasubramanian, V., 2007. Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy. *Materials Science and Engineering: A* 459, 7-18.

Groover, M. P., 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. John Wiley & Son Inc

H. Barekatin, 2014. Microstructure and mechanical properties in dissimilar butt friction stir welding of severely plastic deformed aluminum aa 1050 and commercially pure copper sheets. *J. Mater. Sci. Technol.* 826–834.

Holm, R., 1979. *Electrical Contacts*. Springer New York

Hu, Yuan., 2015. Microstructure and properties of Al/Cu bimetal in liquid–solid compound casting process. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*

Liu, P., 2008. Microstructure and XRD analysis of FSW joints for copper T2/aluminum 5A06 dissimilar materials. *Materials Letters*, 62: 4106–4108.

Lohwasser, D., 2010. *Friction Stir Welding: From basics to applications*. Woodhead Publishing Limited: UK.

Lombard, H., 2011. Optimising FSW process parameters to minimise defects and maximise fatigue life in 5083-H321 aluminium alloy. Elsevier: *Engineering Fracture Mechanics*

Messler, R. W., 2004. *Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Mishra, Rajiv S., 2005. Friction Stir Welding and Processing. ASM International

Newman, Robert E., 2005. Properties of Materials: Anisotropy, Symmetry, Structure. Oxford University Press

Ouyang, J. H., 2006. Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminum alloy (T6-temper condition) to copper. Journal of Materials Processing Technology, 172: 110–112.

Robert, J., 2004. Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy. Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Schmidt, H. B., 2007. Thermal modelling of friction stir welding. Scripta Materialia 58 (2008) 332–337

Silveria, V. L. A., 1987. Analysis of the behavior of bimetallic joints (Al/Cu). J Microstruct Sci 14: 277-287

Sinha, V. C., 2016. Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar joints of aluminium alloy and pure copper by friction stir welding. Perspective in Science 8 : 543 – 546

Veerkamp, William E., 1995. Copper-to-aluminum transitions in high direct-current bus systems. IEEE

Wijayanto, W., 2014. Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Pelat AA5083 Pada Proses Friction Stir Welding. Mekanika Volume 13 Nomer 1

Xue, P., Xiao, B.L., Ni, D.R., Ma, Z.Y., 2010. Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al-Cu

joint by intermetallic compounds. Mater. Sci. Eng. A 527, 5723_5727.

Xue, P., Ni, D.R., Wang, D., Xiao, B.L., Ma, Z.Y., 2011. Effect of friction stir welding parameters on the microstructure and mechanical properties of the dissimilar Al_Cu joints. Mater. Sci. Eng. A 528, 4683-4689.

Welding Handbook Eight Edition Volume 1. (1987). American Welding Society. Miami, FL.

Zhengzhou Hejin Metal Material Co., Ltd. Diambil pada 02 6, 2018, dari <https://www.alibaba.com/product-detail/Copper-clad-aluminum-bimetal-busbar>

Zhang, Qiu Zheng., 2014. Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al–Cu joints by friction stir welding. Elsevier: Transactions of Nonferrous Metals Society of China

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN



TESTING TECHNOLOGY LABORATORY
RESEARCH CENTER FOR QUALITY SYSTEM AND TESTING TECHNOLOGY
INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES

ATTACHMENT TABLE FOR SUMMARY OF MEASUREMENT

NO: BTP-067-GW-TP-071-18

Measurement Results:

Sample No.	Average Resistance (Ω)	Length (m)
#1	0,000074	0,04004
#2	0,000085	0,04008
#3	0,000099	0,04005
#4	0,000099	0,04009
#5	0,000091	0,04004
#6	0,000093	0,04008
#7	0,000083	0,04001
#8	0,000082	0,04007
#9	0,000106	0,04007



Date: June 29th, 2018

Nanang Kusnandar, S.Si, M.T.

NIP: 197709202005021002

Technical Manager of Energy, Environment and Electrical Laboratory

Alamat P2SMTP LIPI, Kawasan Puspitpek Gedung 417 Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia Phone: (+62-21) 7560227, 75871137, 75871130, Fax: (+62-21) 7560227, 75871137
Dilarang keras mengutip, memperbanyak, dan/atau mempublikasikan sebagian isi Sertifikat ini tanpa izin tertulis dari Manajer Mutu P2SMTP-LIPI
Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap P2SMTP - LIPI.
Sertifikat ini hanya berlaku untuk benda yang diuji seperti yang disebut didalam sertifikat ini.

Page 2 of 3

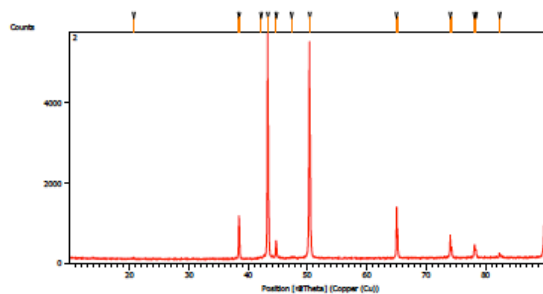
Hasil XRD untuk Kecepatan Rotasi 800 RPM dan Kecepatan
Pengelasan 12,5 mm/min

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	2
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2018\Juli\Fauzan\2\2.rd
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/6/2018 7:43:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2θ]	Height [cts]	FWHM [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.7141	23.19	0.4015	4.28819	0.41
38.4145	1056.50	0.1020	2.34143	18.78
38.5065	833.54	0.0816	2.34186	14.82
42.1433	35.83	0.4896	2.14249	0.64
43.2766	5625.70	0.1020	2.08897	100.00
43.4028	2894.06	0.0612	2.08837	51.44
44.6767	438.00	0.1020	2.02670	7.79
47.3689	32.06	0.2448	1.91760	0.57
50.3810	5371.73	0.1020	1.80979	95.49
50.5228	2817.49	0.0612	1.80953	50.08
65.0334	1266.77	0.1020	1.43319	22.52
65.2094	666.80	0.1020	1.43310	11.85
74.0813	558.60	0.1020	1.27876	9.93
74.3335	224.89	0.1428	1.27821	4.00
78.1556	318.49	0.0816	1.22197	5.66
78.4081	185.98	0.1224	1.21867	3.31
82.3555	104.26	0.0816	1.16996	1.85

Pattern List: (Bookmark 4)**Document History:** (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = 2.rd

- Modification time = "7/6/2018 8:19:20 AM"

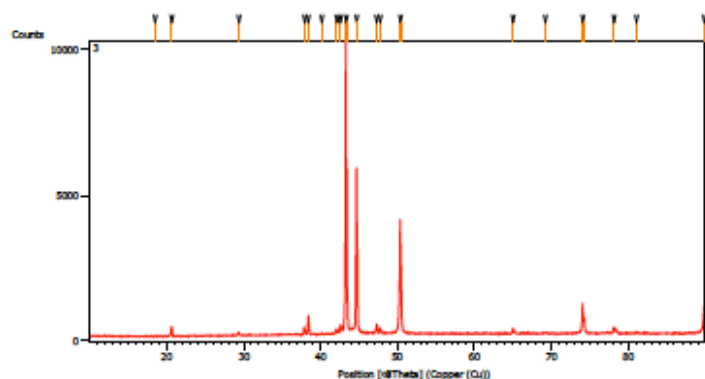
Hasil XRD untuk Kecepatan Rotasi 800 RPM dan Kecepatan Pengelasan 16 mm/min

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	3
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2018\Juli\Fauzan\3\3.rd
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/6/2018 8:09:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2 θ]	10.0084
End Position [°2 θ]	89.9764
Step Size [°2 θ]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2 θ]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffraction Type	XPert MPD
Diffraction Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.4781	19.14	0.2007	4.80174	0.19
20.6220	341.25	0.1004	4.30713	3.38
29.3594	111.49	0.0669	3.04219	1.10
37.8464	248.65	0.0669	2.37723	2.46
38.3841	580.07	0.1004	2.34516	5.75
40.1127	37.99	0.2007	2.24799	0.38
42.0549	185.46	0.1171	2.14856	1.84
42.5506	305.71	0.1171	2.12467	3.03
43.2615	10096.87	0.0816	2.08966	100.00
43.3847	5587.97	0.0612	2.08919	55.34
44.6181	5690.51	0.1020	2.02923	56.36
44.7556	2785.60	0.0816	2.02834	27.59
47.2936	319.90	0.1020	1.92048	3.17
47.7560	182.15	0.0816	1.90296	1.80
50.3810	3886.01	0.1020	1.80979	38.49
50.5230	2098.56	0.0612	1.80952	20.78
65.0197	183.87	0.0816	1.43326	1.82
69.2243	22.03	0.6528	1.35612	0.22
74.0662	1011.22	0.1020	1.27898	10.02
74.2853	533.16	0.0816	1.27892	5.28
78.1371	220.72	0.1632	1.22221	2.19
81.0450	23.48	0.4896	1.18554	0.23
89.8517	932.61	0.1224	1.09078	9.24

Pattern List: (Bookmark 4)

Hasil XRD untuk Kecepatan Rotasi 1000 RPM dan Kecepatan

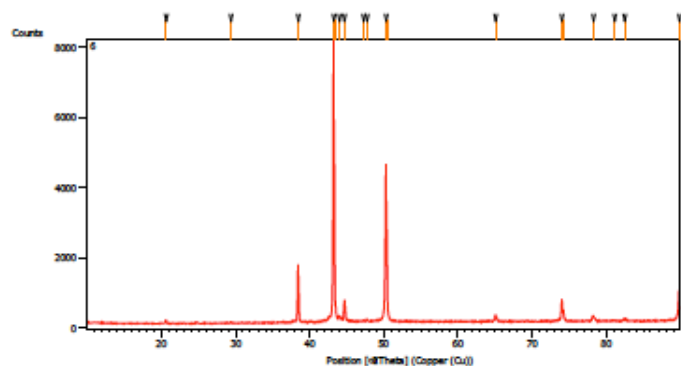
Pengelasan 16 mm/min

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	6
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2018\Juli\Fauzan\6\6.rd
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/6/2018 7:52:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.5977	90.50	0.0836	4.31216	1.12
29.3658	28.50	0.2007	3.04154	0.35
38.4116	1624.81	0.1004	2.34354	20.19
43.2015	8047.72	0.1224	2.09243	100.00
43.3269	4181.19	0.0612	2.09184	51.95
43.9902	150.50	0.2448	2.05672	1.87
44.6695	593.47	0.2040	2.02701	7.37
47.2505	34.86	0.2448	1.92213	0.43
47.7532	45.77	0.3264	1.90306	0.57
50.3155	4457.26	0.1428	1.81199	55.39
50.4576	2256.91	0.0816	1.81171	28.04
65.0665	162.67	0.1632	1.43235	2.02
74.0029	600.95	0.1224	1.27992	7.47
74.2522	315.91	0.0816	1.27941	3.93
78.2558	150.78	0.2448	1.22066	1.87
81.0802	12.57	0.8160	1.18511	0.16
82.4300	49.04	0.2448	1.16909	0.61
89.8018	795.77	0.1428	1.09126	9.89

Pattern List: (Bookmark 4)**Document History:** (Bookmark 5)

Insert Measurement:
- File name = 6.rd

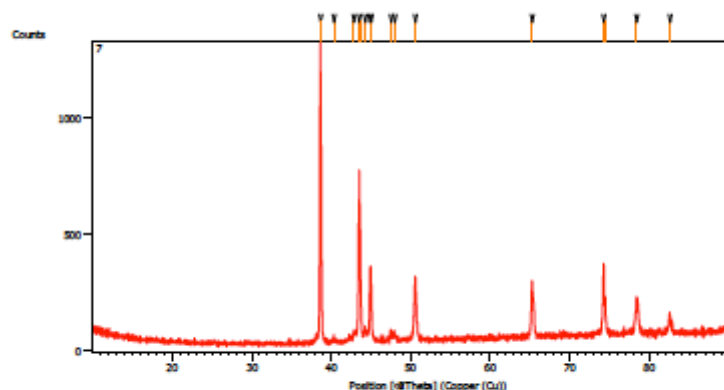
Hasil XRD untuk Kecepatan Rotasi 1250 RPM dan Kecepatan Pengelasan 10 mm/min

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	7
File name	E:\DATA PENGULAN\Pengujian 2018\Juli\Fauzan\7\7.rd
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	7/6/2018 8:21:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10.0084
End Position [°2Th.]	89.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffraction Type	XPert MPD
Diffraction Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.6128	1174.19	0.1428	2.32986	100.00
38.7196	884.74	0.0816	2.32946	75.35
40.3290	13.49	0.3264	2.23459	1.15
42.8211	42.06	0.2448	2.11013	3.58
43.4882	739.25	0.0816	2.07929	62.96
43.6127	482.86	0.0612	2.07880	41.12
44.2417	49.17	0.2448	2.04561	4.19
44.8676	303.33	0.1020	2.01852	25.83
44.9815	296.89	0.1224	2.01367	25.28
47.5436	35.36	0.1632	1.91096	3.01
48.0243	31.43	0.2448	1.89295	2.68
50.6022	264.46	0.3264	1.80239	22.52
65.3026	225.96	0.1836	1.42774	19.24
74.2894	301.63	0.1428	1.27569	25.69
74.5178	147.88	0.0816	1.27550	12.59
78.3865	151.35	0.2040	1.21895	12.89
82.5887	66.02	0.1632	1.16725	5.62

Pattern List: (Bookmark 4)

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = 7.rd

- Modification time = "7/6/2018 8:18:17 AM"

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Fauzan Kurniawan. Lahir di Jakarta 1 Juni 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Haryana dan Prasdiyati. Penulis menyelesaikan jenjang pendidikannya di SDN Pesanggrahan 10 Pagi Jakarta Selatan, SMP Labschool Kebayoran Jakarta dan SMA Labschool Kebayoran Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan studi S-1 di Teknik Material Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada 2014.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi di dalam kampus. Pada tahun 2015 hingga 2016 penulis menjadi staff Badan Semi Otonom Minat dan Bakat HMMT FTI-ITS. Kemudian pada tahun 2016 hingga 2017 penulis menjadi Head of E-Learning Division Society of Petroleum Engineers ITS SC. Selain berorganisasi penulis juga aktif di kegiatan laboratorium dengan pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Material.

Penulis melakukan kerja praktik di PT. Garuda Maintenance Facility di Cengkareng pada tahun 2017. Pada kerja praktek penulis bertugas di divisi Base Maintenance. Adapun kontak yang dapat dihubungi adalah fauzan.kurniawan96@gmail.com